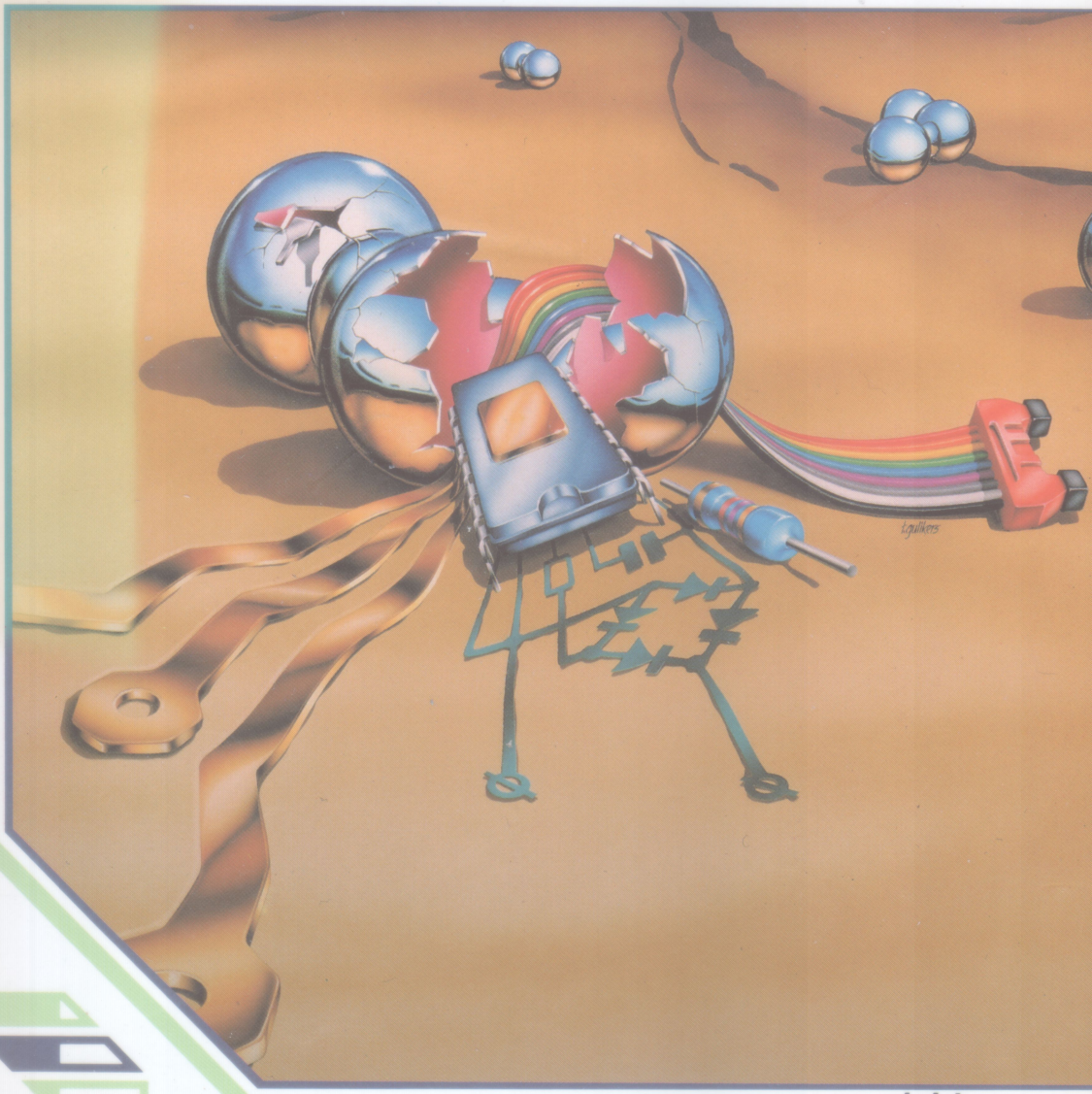
Henk Scholten

Mikrosysteem

Universeel in- en uitvoersysteem

deel 1



elektuur

Mikrosysteem
deel 1

Henk Scholten

Mikrosysteem

Universeel in- en uitvoersysteem

deel 1

Uitgeversmaatschappij Elektuur B.V.
Postbus 75, 6190 AB Beek (L)

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Scholten, Henk

Mikrosysteem / Henk Scholten ; red. G.H.K. Dam. — Beek [L.] : Elektuur
Dl. 1: Universeel in- en uitvoersysteem / [schema en ill.: Henk Scholten. . .et al.]. — Ill.
Met index, lit. opg.
ISBN 90-70160-72-2
SISO 663.43 SVS 7.69.3 UDC 681.327.2 NUGI 434
Trefw.: microprocessors.

ISBN 90-70160-72-2 NUGI 434/853

© 1989 Uitgeversmaatschappij Elektuur B.V.
1e druk : februari 1990

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever. Alle rechten voorbehouden.

No part of this book may be reproduced in any form, by print, photoprint, microfilm or any other means without prior written permission from the publisher.
All rights reserved.

Ondanks alle aan de samenstelling van dit boek bestede zorg kan noch de auteur, noch de redaktie, noch de uitgever aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele schade die zou kunnen voortvloeien uit enige fout die in deze uitgave zou kunnen voorkomen.

Omslagontwerp : Ton Gulikers

Schema's en Illustraties :
Henk Scholten en Laurent Martin c.s.

Grafische vormgeving & produktie :
Grafisch Buro Sinke B.V. Beek L

Druk : Tulp B.V. Zwolle

Mikrosysteem en MicroSource zijn een gedeponeerd handelsmerk van
MicroSource / H.Scholten Postbus 1243 8001BE Zwolle NI.

Inhoud

Voorwoord 9

1. Achtergronden van het Mikrosysteem 10
1.1 De opbouw 10
1.2 Het basisidee 12
1.3 De kenmerken 12
1.4 Korte bespreking van de hoofdstukken 13

2. Vormgeving 15
2.1 De bus 15
2.1.1 De kabel 15
2.1.2 De buskonnektors 15
2.2 Standaard printkaarten 19
2.2.1 Universele basiskaart 19
2.3 Standaardkonnektoren 23
2.4 De opbouw 25
2.4.1 Grondplaat 25
2.4.2 Plexiglas behuizing 25
2.4.3 Stevig en kompakt 26
2.4.4 19-inch rek 26

3. Busbeschrijving 27
3.1 De geschiedenis van de microprocessor 27
3.2 Signalen op de bus 28
3.2.1 De computerbus 28
3.2.2 Invoer en uitvoer in het kort 28
3.2.3 Synchrone en asynchrone bussen 30
3.2.4 Flank- of niveaudetektie 30
3.2.5 Open-kollektorlijnen 30
3.2.6 Aansluiten op een computer 31
3.3 De gebruikte bussignalen 31
3.3.1 De voedingslijnen 31
3.3.2 De databus 31
3.3.3 De adreslijnen 32
3.3.4 De kontrolelijnen 34
3.3.5 Overzicht van de gebruikte kontrolesignalen 34
3.3.5.1 I/O-signalen 34
3.3.5.2 Interruptlijnen 35
3.3.5.3 Systeemsignalen 35
3.4 Aansluiten van de diverse CPU's 36
3.4.1 De datalijnen 36
3.4.2 De adreslijnen 36
3.4.3 De kontrolelijnen 36
3.5 Aanvullende informatie 37
3.5.1 Intel 8080/8085 37
3.5.2 Intel 8088 37
3.5.3 8052 en andere 80XX microcontrollers 37
3.5.4 Zilog Z80 38

3.5.5 Motorola MC6800 38
3.5.5.1 MC6802, MC6808 en MC6809 38
3.5.5.2 MC680XX 38
3.5.6 Mostek 6502 40
4. De Busbuffers 41
4.1 Universele busbuffer 41
4.1.1 De adressering 43
4.1.1.1 Basisadres 43
4.1.1.2 –Kaartkeuze 45
4.1.1.3 Registerkeuze 45
4.1.1.4 De datalijnen 46
4.1.1.5 De kontrolelijnen 46
4.1.1.6 Samenvattend 46
4.1.1.7 Busaansluiting 46
4.1.2 Sinclair ZX Spectrum 47
4.1.3 Commodore 64 50
4.1.4 Acorn BBC computers 52
4.1.5 Acorn Electron 56
4.2 8052-Basic single chip controller 59
4.3 MSX-busbuffer 61
4.4 IBM-PC (-XT & -AT) busbuffer 63
4.4.1 De IBM-PC-bus 64
4.4.2 De AT-bus 65
4.4.3 De busbuffer 65
4.4.4 Gebruik van de interrupts 66
4.4.5 Wachtcyclusgenerator 68
4.5 Atari ST-busbuffer 69
5. De Basiskaarten 72
5.1 Het aansluiten van een I/O-poort 72
5.2 Programmeerbare IC's 73
5.3 8080-periferie-IC's 74
5.4 6800-periferie-IC's 74
5.5 Andere periferie-IC's 75
5.6 De basiskaarten 75
5.7 TTL Parallelpoort 76
5.7.1 Invoer data buffering 76
5.7.2 Uitvoerdata-buffering 77
5.7.3 De kontrolesignalen 77
5.8 PIA 6821 Parallel-I/O 81
5.9 PPI 8255A Parallel-I/O 94
5.10 PIT 8253 Teller 100
5.11 De analoge basiskaarten in het algemeen 110
5.12 ADC0808 A/D-omzetter 116
5.13 ZN427 A/D-omzetter 119
5.14 DAC08 D/A-omzetter 124
5.15 ZN426 D/A-omzetter 130
5.16 ACIA 6850 Seriële interface 133
5.17 ICM 7170 Vierentwintig-uurs klok (Real Time Clock) 140
5.18 PIC 8259A-interrupt-expander 150
5.19 Kaarten van andere bussystemen 159
5.19.1 Universele Elektuur-bus 159
5.19.2 Velleman-systeem 161
5.19.3 U-Systems 161

6. Aarde en storingsonderdrukking ... 162
6.1 Aarde ... 162
6.1.1 Echte aarde ... 162
6.1.2 Systeemaarde ... 162
6.1.3 De aardlijn bij verbindingen ... 163
6.1.4 Randaarde ... 163
6.1.5 Aardlussen ... 163
6.2 Storingsonderdrukking ... 164
6.2.1 Elektrostatische ontladingen ... 164
6.2.1.1 Materiaaleigenschappen ... 166
6.2.1.2 Bewaren van IC's ... 166
6.2.1.3 Werkomgeving ... 166
6.2.1.4 Gedragsregels ... 166
6.2.2 Storing binnen de schakeling via ... 166
6.2.2.1 Konduktieve koppeling ... 169
6.2.2.2 Induktieve koppeling ... 170
6.2.2.3 Kapacitieve koppeling ... 171
6.2.2.4 Elektromagnetische koppeling ... 172
6.2.2.5 Samenvatting ... 173
6.2.3 Storing vanuit verbindingen ... 173
6.2.3.1 Analoge signalen ... 174
6.2.3.2 Digitale signalen ... 177
6.2.3.3 Onderdrukking met ferrietringen ... 177
6.2.4 Storing vanuit het lichtnet ... 182
6.2.4.1 Zelfbouw-netstoringsfilter ... 183

7. Energievoorziening ... 185
7.1 Veiligheid ... 185
7.2 Voeding ... 188
7.2.1 Montage ... 189
7.2.2 Lineaire voeding ... 189
7.2.2.1 De opbouw van een lineaire voeding ... 190
7.2.2.2 Berekening van de onderdelen ... 192
7.2.2.3 Vuistregels berekening lineaire voeding ... 193
7.2.2.4 Gegevens driepins spanningsstabilisatoren ... 194
7.2.3 Standaardvoeding +8 V/1,5 A ... 194
7.2.4 Energieverzorging op de basiskaarten ... 194
7.2.5 Smoorspoelen in de voedingsleiding ... 195
7.2.6 Ontstoren met zenerdiode en smoorspoel ... 196
7.2.7 Negatieve spanning ... 196
7.2.8 Standaardvoeding +18 V/18 V/1 A ... 196
7.2.9 Nauwkeurige spanning en/of groot vermogen ... 198
7.2.9.1 Nauwkeurige positieve spanning ... 198
- Nauwkeurige voeding +5 V/100 mA ... 198
- Regelbare voeding +2..+25 V/2 A (≤10 A) ... 199

7.2.9.2 Nauwkeurige symmetrische voeding ... 199
- ±15 V/100 mA ... 199
- ±15 V/2 A-voeding ... 200

7.2.10 Gelijkspanningsomzetting ... 200
7.2.11 Kontinu-voeding ... 202

8. Bijlagen ... 203
8.1 Definities ... 203
8.2 Standaard-notatie ... 203

8.3 De programma's 203
8.3.1 Betrouwbaarheid 204
8.3.2 Talen 207
8.3.3 Microcontrollers 208
8.4 Tips 209
8.5 De drie belangrijkste wetten in de elektronica 210
8.6 De mikrosysteem standaardonderdelen 213
8.7 Printen 219
8.8 Literatuurlijst 226

Index 233

Voorwoord

Dit boek is het resultaat van ontwikkelingen die in 1984 zijn begonnen toen MicroSource een invoer-/uitvoersysteem voor de Sinclair ZX Spectrum op de markt bracht. Sindsdien is er in de computerwereld veel gebeurd en er zijn een groot aantal verschillende huiscomputers op de markt gebracht. Een eenvoudige IBM-PC/XT was toen nog erg duur en alleen voor professioneel gebruik bedoeld. Nu, enige jaren later, vindt men het de minimale computer voor serieus gebruik. Voor het werken met in- en uitvoersystemen heeft die snelle opeenvolging van computersystemen een groot nadeel. Telkens als er een nieuwe, ''krachtiger'', computer populair wordt, moet een eventueel gebouwd in- en uitvoersysteem weer op de nieuwe computer aangepast worden. Vaak wil men immers toch op de een of andere wijze gebruik maken van de verbeterde techniek. Dat nieuwe in- en uitvoersysteem werkt dan weer niet met de ''oude'' computers, waarop men is ingewerkt. Oude in- en uitvoersystemen die in gebruik blijven, profiteren niet van nieuwe ontwikkelingen. Het is dus duidelijk dat er behoefte bestaat aan een in- en uitvoersysteem dat met zoveel mogelijk computers te gebruiken is. Een andere belangrijke eigenschap van een universeel in- en uitvoersysteem is de vrijheid om het type computer bij de toepassing te kiezen, terwijl het gebruikte in- en uitvoersysteem en de bijbehorende kennis en ervaring hetzelfde blijven. Met name daardoor kan zo'n systeem ook een belangrijke edukatieve funktie hebben. Het Mikrosysteem is vanuit deze achtergrond ontwikkeld.

In dit boek wordt eerst ingegaan op de gemeenschappelijke kenmerken van de gangbare microprocessoren. Daarna wordt een algemene I/O-theorie gepresenteerd waarop het Mikrosysteem is gebaseerd. Voor de meeste in Europa gebruikte computers wordt een volledig uitgewerkte busbuffer beschreven. Om het systeem in de praktijk ook goed bruikbaar te maken zijn een groot aantal zogenaamde ''basiskaarten'' ontwikkeld. Hiermee is de kern van een invoer-/uitvoersysteem gerealiseerd. Het is gebleken, dat het voor veel mensen lastig is dat de datasheets van de algemeen gebruikte periferie IC's niet in het Nederlands verkrijgbaar zijn. Daarom is hier bij elke kaart een vrij uitgebreid stuk opgenomen over het gebruiken en programmeren van het periferie-IC. Dat komt vaak neer op een Nederlandstalige samenvatting van de datasheet. Niets nieuws, maar wel belangrijk voor gebruikers. Omdat in de praktijk nogal eens problemen optreden die op het vlak van voeding en elektrische storingen liggen, wordt daar ook ruime aandacht aan gegeven. Dat alles onder het motto dat een schakeling evenmin als een mens goed kan funktioneren in een storende omgeving of als de voeding slecht is.

De uitwerking van het hele Mikrosysteem heeft enige jaren in beslag genomen, waarbij velen op de één of andere manier een bijdrage hebben geleverd. In het bijzonder: Ad Toorman, Sied Kooistra, Frieda, Aneurin en mijn ouders. Zonder verder namen te noemen wil ik iedereen die er bij betrokken was bedanken voor de medewerking. De konstruktieve samenwerking met de Elektuurredaktie, met name Gerrit Dam, was noodzakelijk om dit boek tot de vorm te brengen die het nu heeft.

Je kunt het alleen zien als je het weet en je kunt het alleen weten als je het ziet. -vrij naar Frederik van Eeden.

Zwolle, December 1989

1. Achtergronden van het Mikrosysteem

Dit boek gaat over het aansluiten van randapparaten op een computer. Het uitgangspunt is een universeel invoer- en uitvoersysteem voor microcomputers. Dit "Mikrosysteem® " bestaat uit: een busdefinitie, busbuffers om de meest uiteenlopende microcomputers te kunnen aansluiten en een aantal invoer- en uitvoerkaarten. Daarmee kunnen de meeste (zowel analoge als digitale) invoer- en uitvoerfunkties gerealiseerd worden in kombinatie met vrijwel iedere microcomputer. De beschrijving van het Mikrosysteem is over twee boeken verdeeld.
In het tweede deel worden een groot aantal standaardschakelingen besproken. Deze dienen om de signalen uit/naar de buitenwereld geschikt te maken voor verwerking door de invoerkaarten respektievelijk om de signalen van de uitvoerkaarten om te zetten in een voor die buitenwereld bruikbare vorm.
Verder worden komplete toepassingen beschreven zoals het aansturen van gelijkstroom- en stappenmotoren, de proportionele regeling van lasten op het lichtnet en een aantal sensors. Dit alles is te gebruiken bij een breed skala aan aktiviteiten; van robotbesturing tot laboratoriummetingen en van weerstation tot centrale verwarmingsregeling.

Meten, regelen en besturen zijn toepassingen waarbij een computer helemaal tot z'n recht komt. De meeste computers zijn gericht op toetsenbord, beeldscherm, massageheugen en printer voor de bekende toepassingen als spelletjes, tekstverwerken, rekenmatrixen, bestandsbeheer, etc. Ze hebben over het algemeen geen voorzieningen voor meet- en regeltoepassingen. Het Mikrosysteem maakt het mogelijk om vrijwel elke computer voor dit doel te gaan gebruiken. Het Mikrosysteem is geschikt voor amateurs, professionals en niet te vergeten het onderwijs.
Er is veel aandacht besteed aan een modulaire opzet. Ook bij de uitleg, zodat eigen toepassingen met de modules gebouwd kunnen worden. Voor het onderwijs is dit daarom een heel geschikt systeem om bij prakticums te gebruiken. Ook als het interfacen helemaal niet het onderwerp is. Door de nadruk op het feit dat alle computers in grote lijnen gelijk funktioneren, is de theorie altijd toepasbaar, evenals het feitelijke systeem. Door de mogelijkheid om het systeem met alle computers te gebruiken ontstaat uitwisselbare kennis, programmatuur en apparatuur. Het gebruik van zo veel mogelijk standaardonderdelen is goed voor de eenvoud en het financiële aspekt. Het voorgaande bewijst overigens evenveel diensten bij professioneel als bij amateur gebruik. Met name de toepassingen van de PIT timer/teller-kaart kunnen een verrassing zijn door hun eenvoud en zeer grote nauwkeurigheid, zowel bij het meten als het regelen. Daar zijn zeer professionele resultaten met relatief lage kosten en eenvoudig afregelen, te behalen.

De uitleg is gericht op een zogenaamd "intuïtief" begrip. Er worden geen uitgebreide berekeningen gemaakt of bewijzen geleverd. De uitleg bestaat uit een beschrijving van het funktioneren en vuistregels voor de toepassing. Voor de echte theorie over de diverse onderwerpen wordt naar de literatuurlijst verwezen. De doelstelling van de hier gegeven uitleg is, dat het systeem goed toegepast kan worden en dat er inzicht in de werking bestaat. Het hoofdstuk over aarde en voeding is noodzakelijke achtergrondinformatie voor elke toepassing.
Het werken met de programmeerbare IC's op de invoer- en uitvoerkaarten is zodanig behandeld, dat er bij het programmeren geen Engelstalige datasheets nodig zijn. Zonder echt op het schrijven van meet- en regelprogramma's in te gaan, is met die beschrijvingen en de voorbeelden de grootste drempel voor het schrijven van een programma weggenomen.

1.1 De opbouw van het Mikrosysteem

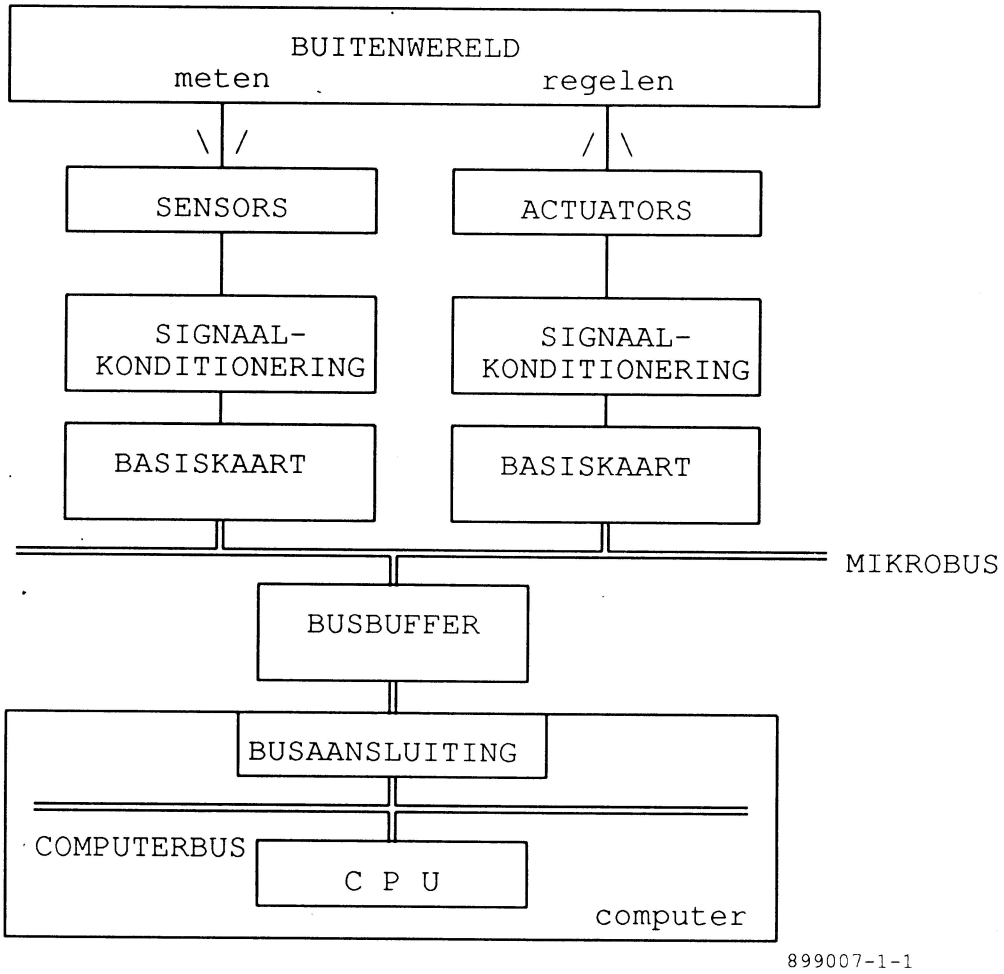
Het Mikrosysteem is een Invoer-/Uitvoer-(Input/Output) systeem dat het mogelijk

maakt om op eenvoudige manier met een microcomputer te meten, regelen en besturen. Het kan werken met computers die een cpu van de 8080, Z80, 6800(0) of 6502 familie's hebben, zoals onder andere de IBM-PC PC-XT, PC-AT en compatibles, MSX-computers, de Atari ST, de Commodore VIC-20 en CBM-64, de Acorn BBC en Electron, de Sinclair ZX 81, ZX Spectrum en QL, de Tandy Color Computer, de Amstrad CPC etc. Voor een aantal van die computers is een komplete Mikrosysteem aansluiting uitgewerkt.

De hardware van het Mikrosysteem bestaat uit de *buskabel, busbuffers, basiskaarten, kaartbuffers, actuators en sensors.*

Daarbij zijn de definitie van de buskabel, de busbuffers en de basiskaarten het meest eigen en wezenlijke onderdeel van het Mikrosysteem. Hiermee kunnen alle bekende funkties op invoer- en uitvoergebied gerealiseerd worden. Het Mikrosysteem biedt door de universele opzet ook heel goede mogelijkheden om andere randschakelingen aan te sluiten.

De andere schakelingen zijn uitgezocht om samen met het busgerichte deel alle elementen op te leveren voor meet-, regel- en besturingstoepassingen op een breed skala van terreinen. Er is veel aandacht gegeven aan de mogelijkheden die de PIT8253 timer/teller biedt. Met name de ideale 220 V-proportio-



Figuur 1-1. Blokschematische weergave van het Mikrosysteem

nele vermogensregeling springt eruit als originele en komplete toepassing. Maar ook sensors, het aansturen van motoren en schakelingen voor analoog gebruik krijgen de nodige aandacht.

Een *minimaal systeem* bestaat uit een *busbuffer*, een *basiskaart* en een *buskabel* met minimaal twee konnektoren. Om er echt iets mee te doen moet er nog een van de andere schakelingen aan toegevoegd worden.

De *mikrobus* is eigenlijk een sub-bus. Dat wil zeggen dat het een, ten opzichte van de computer, op "zichzelf staande" bus is. De computer ziet het Mikrosysteem als één randapparaat, de busbuffer. Dit "randapparaat" kan allerlei eigenschappen hebben, die we zelf door de keuze van de basiskaarten bepalen. De basiskaarten kommuniceren via de mikrobus, de busbuffer en de interne computerbus met de CPU van de computer.
De busbuffer genereert maximaal 8 unieke kaartkeuzesignalen. Eén kaartkeuzesignaal kan meerdere kaarten aansturen door gebruik te maken van de registerkeuzelijnen. Daarmee kunnen 32 adressen per kaartkeuzesignaal aangewezen worden, dus in totaal maximaal 256 adressen. De beschikbare ruimte is overigens afhankelijk van de gebruikte computer.De mikrobus is dus qua funktie niet te vergelijken met bussen als STD, S100, VME etc. Het is niet wéér een andere computerbus. De mikrobus kan bijvoorbeeld goed op een STD-systeem worden aangesloten. Het is ook geen alternatief voor de IEEE-bus, dat is een parallelle kommunikatiebus.
Door de volledige busbuffering kunnen experimenten, binnen redelijke grenzen, zonder gevaar voor de computer worden gedaan.

1.2 Het basisidee achter het Mikrosysteem.

Het Mikrosysteem wordt gekenmerkt door een flexibele en modulaire opbouw. Dat geldt voor alle aspekten van het systeem.

De *bussignalen* maken het mogelijk om met alle bekende hobby-, personal en andere microcomputers te werken.
De *basiskaarten* voorzien in vrijwel alle mogelijke vormen van invoer en uitvoer.
De *bandkabel* maakt het mogelijk om de het systeem naar eigen wens vorm te geven.
De aanbevolen *maatvoering* maakt gebruik van standaard montagematerialen en behuizingen mogelijk.
Het gebruiken van *standaardonderdelen* maakt dat de schakelingen met een kleine voorraad aan onderdelen zijn te bouwen.

1.3 De kenmerken van het Mikrosysteem.

De *busstruktuur* is met de 80(X)XX, Z80, 680X, 6800X en 65XX cpu families te gebruiken.
De *adressering* is grotendeels op de busbuffer georganiseerd zodat daarvoor per kaart weinig aandacht nodig is. Per kaart zijn maximaal 32 adressen beschikbaar.
De *kontrolesignalen* maken het systeem overzichtelijk te gebruiken en speciaal geschikt voor invoer-/uitvoerwerk.
De *basiskaarten* voorzien in de volgende mogelijkheden:

- Parallel I/O, 16 bits, per bit als in- of uitgang te programmeren.
- Parallel I/O, 24 bits, met uitgebreide handshake.
- Timer/Counter met drie 16 bits tellers.
- Analoog/Digitaal-omzetting, 8 kanalen 100 μs.
- Analoog/Digitaal-omzetting, 1 kanaal 10 μs.
- Digitaal/Analoog-omzetting, 1 kanaal 100 ns.
- Digitaal/Analoog-omzetting, 1 kanaal 1 μs.
- Real Time Clock met battery back-up.
- Seriële interface met onafhankelijke Tx en Rx baudrate.
- Programmeerbare Interrupt Controller, 8 kanalen.

Aan de hand van de hier beschreven schakelingen kan men zelf complexere schakelingen voor een speciaal doel samenstellen. Het Mikrosysteem lijkt in dat opzicht op LEGO® . Je koopt een doos met daarin onderdelen en de beschrijving van één of meer modellen. Als je later iets anders wilt bouwen is een voorbeeldboek en wat fantasie genoeg om met de oude onderdelen een nieuw bouwwerk te maken. Op den duur beschik je over steeds meer bouwstenen en kennis van technieken.

Daarmee kunnen steeds complexere eigen modellen bedacht en gebouwd worden.

Het Mikrosysteem bestaat niet alleen uit een invoer- en uitvoersysteem. Er wordt ook aandacht besteedt aan sensors en actuators en signaalkonditionering. Dus alles wat nodig is om echte toepassingen te realiseren. Het meten van grootheden als temperatuur, lichtsterkte, luchtvochtigheid, windsnelheid en richting, etc. krijgt de nodige aandacht. Daarmee kan bijvoorbeeld een weerstation gebouwd worden. Daarnaast beschikken we over een grote hoeveelheid uitvoermogelijkheden zoals onder andere de gelijkstroom- en stappenmotorbesturing. De proportionele regeling van 220V-lasten is een van de belangrijke onderwerpen van het tweede boek. Daarmee kunnen nauwkeurig en goed reproduceerbaar allerlei lasten op het lichtnet worden geregeld zoals verlichting en verwarmingselementen. Met de beschreven 220V-regeling kan bijvoorbeeld een bijzonder goede toneelverlichting worden gemaakt. Door Rood, Groen, Blauw en Wit licht proportioneel te mengen kan elke kleur licht worden gemaakt. De uitstekende stabiliteit van deze proportionele regeling komen daarbij goed van pas. Het besturen van bijvoorbeeld een oven is hiermee ook eenvoudig uit te voeren. Er is ook al eens een folder-uitdelende robotarm gemaakt van Fischer-technik, die met het Mikrosysteem bestuurd werd. Daar kwam een op het oog simpele schakeling als de eindstop voor gelijkstroom motoren goed van pas. De toepassingen zijn voornamelijk beperkt door de fantasie van de gebruiker. Alle kaarten zijn zo opgezet dat met jumpers voor een maximaal mogelijk aantal werkwijzen kan worden gekozen. De programmeerbare timer/teller is, zoals al gezegd, een heel interessante randschakeling waarmee heel goed gemeten en geregeld kan worden. Een nauwkeurigheid van 10 bits is bij metingen met een voltage-frekwentie-omzetter goed haalbaar. De toepassingen van de analoog/digitaal- en digitaal/analoog-omzetters krijgen wat minder aandacht, maar daarover is juist al veel literatuur beschikbaar. De belangrijkste basiselementen voor toepassingen van A/D- en D/A-omzetters zijn wel opgenomen. Daarnaast wordt aandacht aan sensors besteed. Dat is een zich snel ontwikkelend gebied van de elektronica. Waarop nog veel nieuwe zaken te verwachten zijn.

1.4 In de volgende hoofdstukken wordt het Mikrosysteem stapsgewijs besproken.

Dit is de korte inhoud van de hoofdstukken:

- Hoofdstuk 1 geeft een overzicht van de inhoud van het boek en de algemene eigenschappen van het Mikrosysteem.
Opvallend is de universele, modulaire en (in elektronisch opzicht) flexibele opzet.

- Hoofdstuk 2 behandelt de vormgeving van het Mikrosysteem. Hierin wordt duidelijk hoe het Mikrosysteem mechanisch opgebouwd kan worden. Er wordt een aanbevolen maatvoering besproken en er wordt gewezen op de flexibiliteit (in mechanisch opzicht). Deze belangrijke eigenschap staat grotendeels los van de elektronica en wordt daarom als eerste besproken. Let ook op de goed toegankelijke en eenvoudige opbouw met de (plexiglazen) stapel-kastjes.

- Hoofdstuk 3 gaat over de mikrobus. Hier wordt de theorie van een in- en uitvoeraktie besproken. Dit is een belangrijk hoofdstuk voor het begrijpen van het Mikrosysteem. De praktijk komt later aan de orde. De geschiedenis van de microprocessor is gebruikt als handvat voor de beschrijving van de overeenkomsten en verschillen tussen de diverse processoren.Na dit hoofdstuk is duidelijk hoe een computerbus werkt en wat het principe van een invoer-/uitvoeraktie is. Verder moet duidelijk zijn hoe de mikrobus op de diverse cpu's wordt aangesloten.

- Hoofdstuk 4 beschrijft de busbuffers en hoe het Mikrosysteem via deze busbuffers op een groot aantal microcomputers kan worden aangesloten.
Daarnaast worden twee schakelingen die geen echte invoer- en uitvoerfunktie vervullen besproken. Deze hebben allebei een busgerichte funktie en maken een optimaal gebruik van het Mikrosysteem mogelijk.

- Hoofdstuk 5 gaat over de basiskaarten. Dit is de kern van het boek. Vrijwel alle gewenste funkties voor invoer en uitvoer zijn

met de beschreven kaarten realiseerbaar. De beschrijving van het programmeren maakt een optimaal gebruik van de kaarten mogelijk.
Opvallend is dat er over het algemeen weinig elektronica op de basiskaarten aanwezig is.

- In hoofdstuk 6 worden de aarde en storingsonderdrukking besproken. Een goed begrip van deze zaken is van essentieel belang om goed werkende elektronische systemen te kunnen bouwen.
Storingsonderdrukking blijkt vooral een zaak van werkwijze en opbouw van een schakeling te zijn. Met de informatie uit dit hoofdstuk moet de bedrading van een schakeling en systeem goed aangelegd kunnen worden.

- In hoofdstuk 7 worden veiligheid en voeding samen besproken omdat dit nogal nauw samenhangende zaken zijn.
Tevens wordt de nadruk gelegd op het voorkomen van storing door de opzet van de voeding en een goede aardestruktuur.
Na dit hoofdstuk moet duidelijk zijn hoe de totale voeding van een systeem aangepakt moet worden.

- In hoofdstuk 8 komen de bijlagen aan bod. Dit omvat o.a. de drie belangrijkste wetten in de elektronica en een lijst van standaardonderdelen. Alhoewel niet essentieel voor het systeem kan het verder geen kwaad de tips eens te lezen.

Deel 2 gaat over de (basis-)kaartbuffers en de toepassingen. Hierin wordt een groot aantal schakelingen beschreven die samen met de basiskaarten echte toepassingen mogelijk maken. Alhoewel deze schakelingen niet specifiek voor de mikrobus zijn, vormen ze een wezenlijk onderdeel van het Mikrosysteem. Door de modulaire opzet van deze schakelingen worden de algemene toepasbaarheid en het edukatieve karakter van het systeem helemaal waargemaakt.
Belangrijke toepassingen zijn de motorsturing, de proportionele regeling van 220 V-lasten en de voltage-frekwentie omzetters.
Er wordt ook veel aandacht aan sensoren besteed. Sensoren hebben vaak nogal wat omringende elektronica nodig en blijken vaak de zwakste schakel in de keten te zijn. Er is een keuze gemaakt uit redelijk goed verkrijgbare sensoren. Aangezien temperatuurmetingen heel belangrijk zijn, is daar het meest over geschreven.
Aan de hand van de informatie uit dit deel 2 moet het mogelijk zijn om zeer verschillende grootheden te meten en te regelen, of andere typen sensoren aan te sluiten.

2. Vormgeving

Het Mikrosysteem is in de eerste plaats een elektronische aangelegenheid, maar de vormgeving is toch ook van belang. Omdat de vormgeving uiteindelijk toch een min of meer op zichzelf staande zaak is, wordt dat als eerste behandeld. Zo wordt meteen duidelijk hoe het systeem inzetbaar is en hoe het eruit kan zien.
De gekozen vormgeving maakt gebruik van een bandkabel (flat cable) als bus, waarmee tevens een groot deel de flexibiliteit van het Mikrosysteem wordt bepaald.
Bij de aanbevolen maatvoering is uitgegaan van de bekende Euro-standaard. Zodoende kan er gekozen worden uit een groot aantal kant en klare behuizingen.

Voor de opbouw kunnen we onder andere kiezen uit de volgende mogelijkheden:
- Een eenvoudige grondplaat en kaartgeleiders; dit levert een goed toegankelijke en stabiele (proef-)opstelling.
- Een fraai en toch goed toegankelijk systeem door toepassing van de beschreven plexiglas kastjes.
- De kaarten met afstandsbussen aan elkaar geschroefd; zo ontstaat een stevig geheel dat, o.a. door de bandkabelbus, gemakkelijk en goed in standaard behuizingen te bouwen is.
- Een 19 inch-rek met kaartgeleiders; hierin kan een professionele proef- of vaste opstelling opgebouwd worden.

2.1 De bus.

De Mikrosysteembus bestaat uit een 34-aderige bandkabel en header/socket-konnektors. Een heel belangrijke eigenschap van het Mikrosysteem, de flexibele vormgeving, wordt door de bandkabel mogelijk gemaakt. Het gebruik van een flexibele onderlinge verbinding verkleint de kans op storingen ten gevolge van de konnektors. De gebruikte kabel en de konnektors zijn ook nog eens goedkope en goed verkrijgbare standaardonderdelen. Allemaal voordelen dus, mechanisch, elektrisch en financieel.

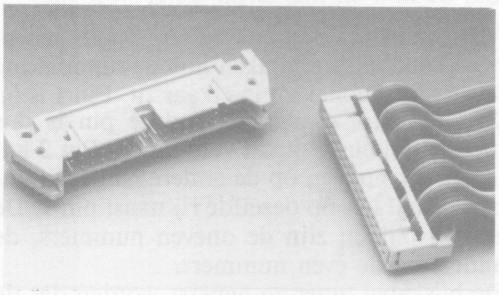


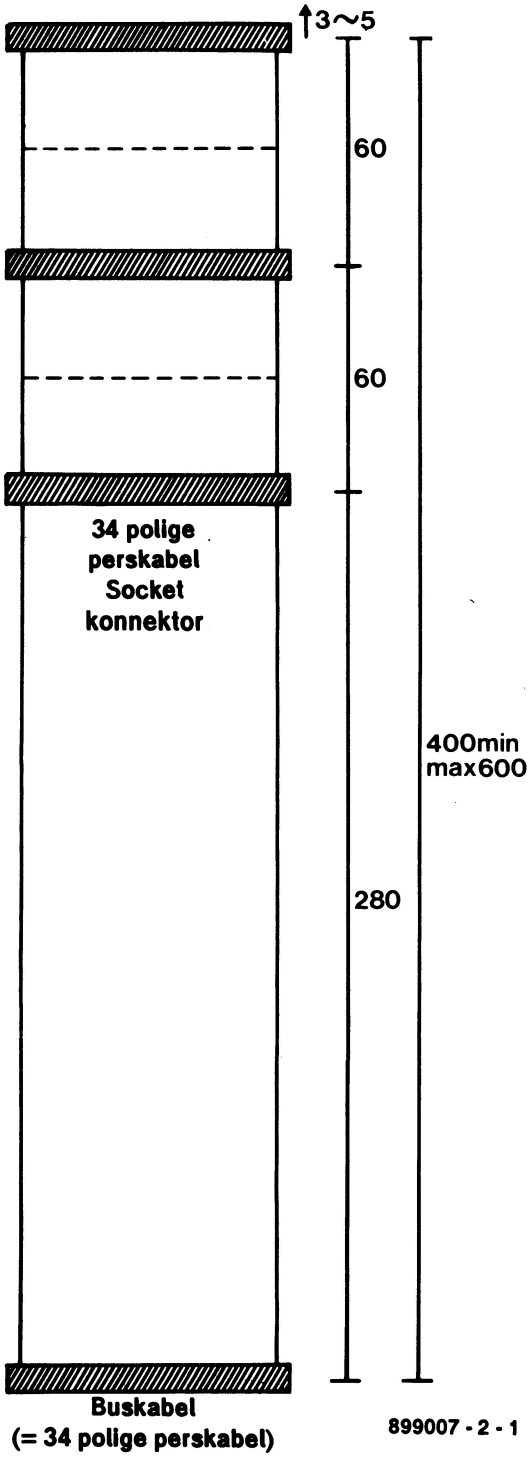
Foto 1. Header- en socket-konnektor

2.1.1 De kabel

De 34-polige bandkabel heeft veel voordelen boven een busprint. De kabelbus is gemakkelijk zelf te maken en uit te breiden. Ook een afwijkende maatvoering is met een bandkabel eenvoudig te realiseren. Door de bandkabel verbinding kunnen computer en uitbreiding flexibel opgesteld worden, evenals de kaarten onderling. Hierdoor wordt ook de kans op storing via de konnektors van de busaansluiting vrijwel tot nul terug gebracht. Bij gebruik van een andere computer hoeft alleen de busbuffer vervangen te worden.
De 34-polige bandkabel wordt veel gebruikt in de computer-elektronica, bijvoorbeeld voor het aansluiten van diskdrives. Als bandkabel kan men de grijze standaard kabel nemen, de regenboog kabels zijn mooier en soepeler maar ook vaak twee keer zo duur.
Bij een open kabel en HCT-IC's op de busbuffer mag de kabel maximaal 60 cm lang zijn. Met open kabel wordt bedoeld dat de kabel aan het eind niet met weerstanden is afgesloten. Als alle lijnen aan het eind worden afgesloten met een 10kΩ pull-up (naar de +5 V) weerstand, kan die lengte tot maximaal 90 cm verlengd worden. Zie figuur 2-1.

2.1.2 De buskonnektors

Op de buskabel worden 34-polige (female) bandkabel socket konnektors gebruikt. Op de basiskaarten worden haakse (male) headers geplaatst. De headers moeten wel van uitwerpers worden voorzien, anders is de konnektor moeilijk weer los te krijgen.
De standaard afstand tussen de konnektors op de bandkabel is 6 cm, maar daar kan dankzij de kabel eenvoudig vanaf worden geweken. Die 6 cm geeft voldoende speling om de kaarten goed op de 'euroafstand' van 4.445 cm van elkaar te plaatsen.



Figuur 2-1. Buskabel met de aanbevolen maatvoering

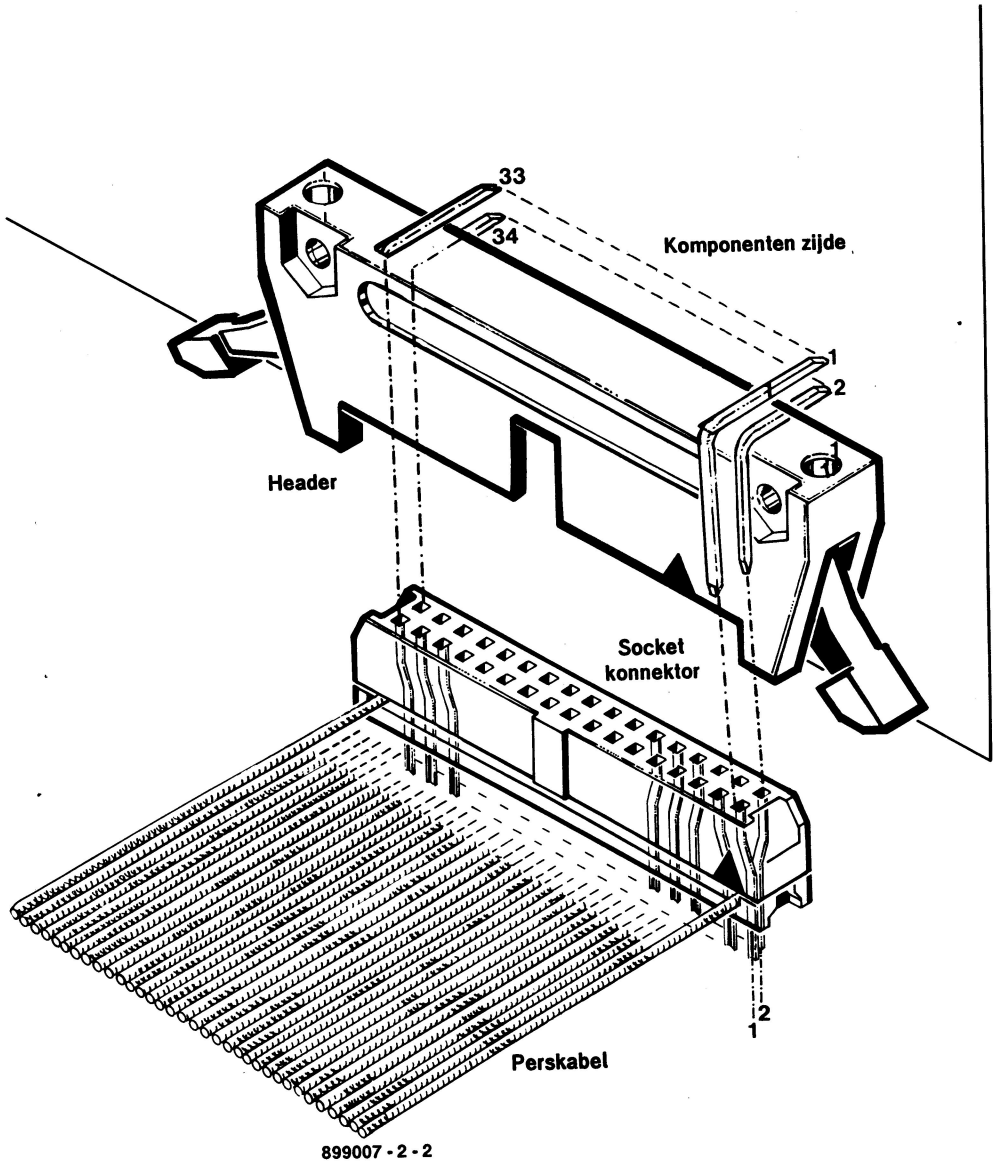
De konnektors kunnen met een bankschroefje op de bandkabel geperst worden. Daarbij moet er goed op gelet worden dat de konnektor haaks op de bandkabel komt. Als de konnektor niet haaks geperst is, kan er sluiting tussen de aders ontstaan. Meet een kabel altijd door, als er een konnektor op is geperst.

De nummering van de konnektoren is zo dat, op de basiskaarten, de pijl op de konnektor naar pennummer één wijst. Op de busbuffer zal dat over het algemeen niet zo zijn. Er kan namelijk op twee manieren met de busbuffer worden omgegaan. Er wordt hier vanuit gegaan dat de busbuffer dicht bij de computer zit en dat er van daaruit een buskabel naar de basiskaarten gaat. Het is ook mogelijk om de busbuffer en de basiskaarten in één rek te plaatsen. De buskabel is dan eenvoudig te persen, alle konnektoren op vaste afstand in dezelfde richting.

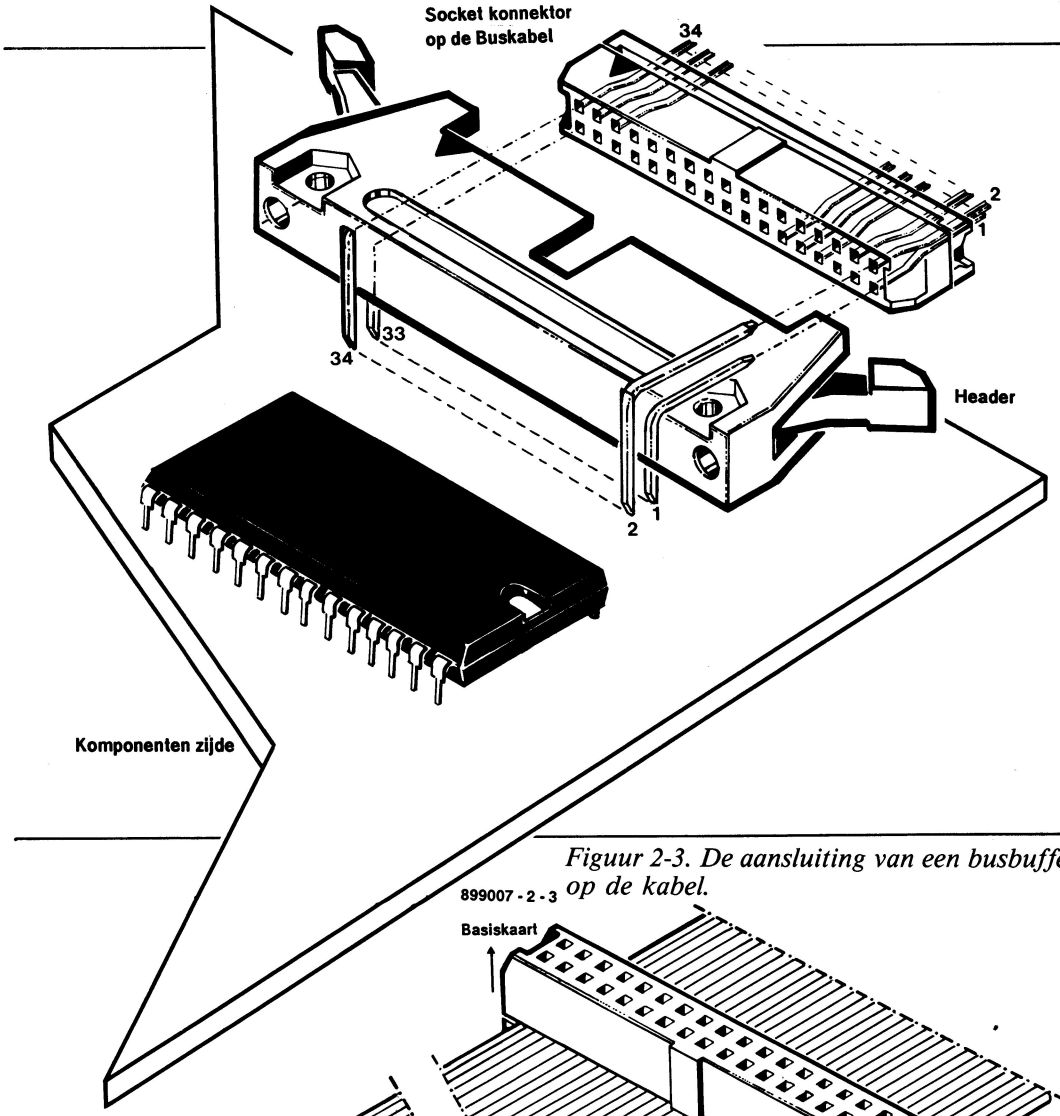
Omdat het gebruik van bandkabel en perskonnektors wel eens problemen oplevert volgt hier een korte uitleg hoe dat in elkaar zit. Het grote punt hierbij is dat de pinnen per twee stuks achter elkaar zitten en dat alle draden naast elkaar liggen. Op elke perskonnektor staat een markering, vaak een pijl, waarmee pin één wordt aangegeven. Die pin wordt met de buitenste draad van de bandkabel verbonden. De positie van pin één hangt ook samen met de plaats van de positioneringsnok op één lange zijkant van de konnektor. Als de konnektor omgedraaid wordt, zodat de nok naar het andere eind van de kabel wijst, gaat het mis. Want nu zal de pin die op de plaats van pin één terecht komt, niet met de eerste maar met de tweede draad vanaf de rand van de kabel verbonden worden. Dit kan een bron van verwarring zijn en er moet bij het persen van de konnektoren dus goed op de positie van de nok en markering gelet worden.

Met een aantal figuren (2-2 t/m 2-4) is geprobeerd duidelijk te maken hoe de nummering van de buskonnektor in elkaar zit. Pin 1 is op de konnektor gemarkeerd, deze pin is dus met de buitenste draad verbonden. Pin 2 ligt tegenover pin één op de andere lange rij pinnen. Pin 3 ligt op dezelfde rij naast pin 1. De ene rij pinnen zijn de oneven nummers, de andere rij de even nummers.
De buskabel moet zo geperst worden dat de nokken op de konnektoren naar de busbuf-

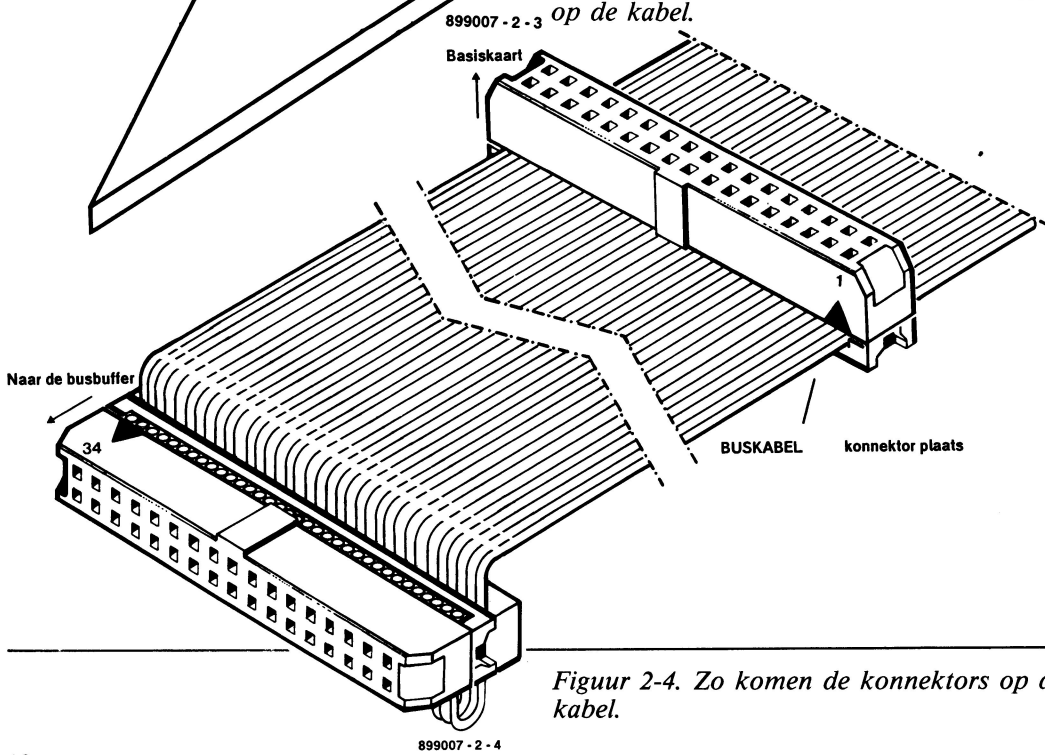
ferkonnektor wijzen. De kabel kan het beste niet door de trekontlasting gedaan worden, de trekontlasting moet i.v.m. de vergrendeling wel op de konnektor aangebracht worden. De konnektor voor de busbuffer wordt op de andere zijde van de bandkabel gezet. De nok wijst dan ook naar de busbuffer, dus in dezelfde richting als de konnektoren voor de basiskaarten. De kabel wordt door de trekontlasting gedaan en over de trekontlasting gebogen (zie figuur 2-4 en 2-5). Als de trekontlasting niet gebruikt wordt, kan de konnektor voor de busbuffer ook 'bovenop' de kabel worden gezet. De konnektor zit dan dus aan dezelfde kant als de konnektoren voor de basiskaarten. In dat geval moet de nok op de konnektor naar de basiskaartkonnektoren toe gericht zijn. Deze konnektor moet dan dus omgedraaid op de kabel zitten ten opzichte van de basiskaartkonnektoren.



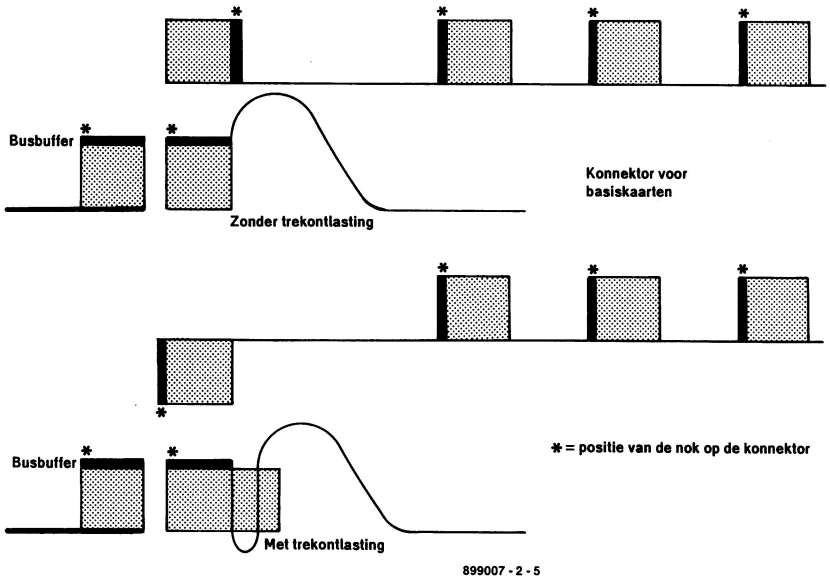
Figuur 2-2. De aansluiting van een basiskaart op de kabel.



Figuur 2-3. De aansluiting van een busbuffer op de kabel.



Figuur 2-4. Zo komen de konnektors op de kabel.



Figuur 2-5. Schematische weergave van een kabel met busbufferkonnektor mèt en zonder trekontlasting.

2.2 Standaard printkaarten

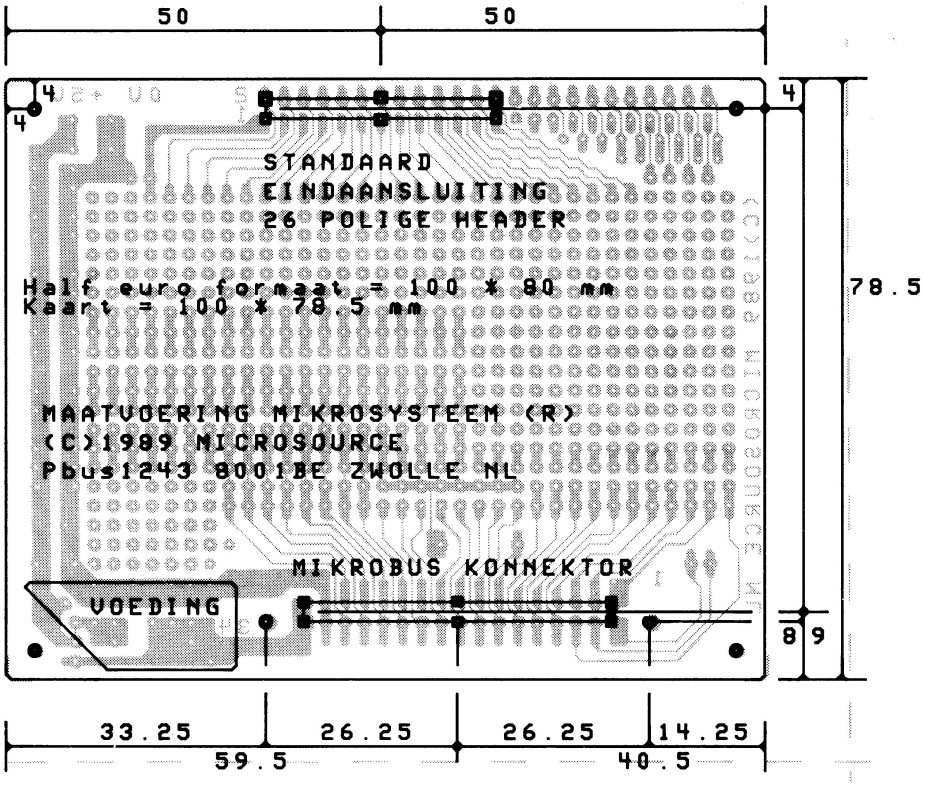
De printen zijn 10 cm breed en 8 cm lang (halve eurokaart). We kunnen natuurlijk ook een hele eurokaart van 10 x 16 cm aansluiten. De konnektor komt namelijk toch op de korte zijde. Het midden van de konnektor komt op 4 cm van de rechterkant van de printkaart (komponentenzijde). De breedte van 10 cm is de belangrijkste vaste maat, daar is ook de maatvoering van de grondplaat op gebaseerd. Het is uiteraard mogelijk om volkomen van deze maten af te wijken. De aanbevolen maatvoering maakt het mogelijk om standaard behuizingen zoals 19 inch-rekken te gebruiken. Op de hoeken zitten gaten van 4 mm doorsnede. Het middelpunt van die gaten zit 5mm van de zijden van de print. Op de basiskaarten is een vast gebied voor de voedingsstabilisatie gereserveerd, zie figuur 2-6.

2.2.1 Universele basiskaart

Er zijn twee experimenteerprinten ontworpen om de basiskaarten op te bouwen. De meeste schakelingen zullen op de halve eurokaart passen. Sommige hebben de hele eurokaart van 10X16cm nodig. De kaart voorziet in het volgende:

- Aansluiting voor de mikrobuskonnektor.
- De datalijnen zijn zo doorgevoerd dat de meeste periferie-IC's er direkt op kunnen worden aangesloten. De print is zo uitgevoerd dat eenvoudig een groot of klein IC geplaatst kan worden.
- De -Kaartkeuzesignalen kunnen direkt met een jumperstrip afgesloten worden. Het kaartnummer is dan met een jumper in te stellen. De nummering loopt van rechts naar links.
- De belangrijke kontrolesignalen zijn naast elkaar beschikbaar, zie figuur 2-7B .
- Voor de voeding is een deel van de print gereserveerd. Op de print kan een jumper aangebracht worden om te kiezen tussen +5 V en +8 V centrale voeding. Zie het stuk over de standaardvoeding.
- Aan het eind kan een 26-polige headerstrip in het midden van de kaart geplaatst worden. De pinnen zijn zo aangesloten dat ze naast elkaar beschikbaar zijn. Er kan eventueel ook een 9-pens D-konnektor geplaatst worden.

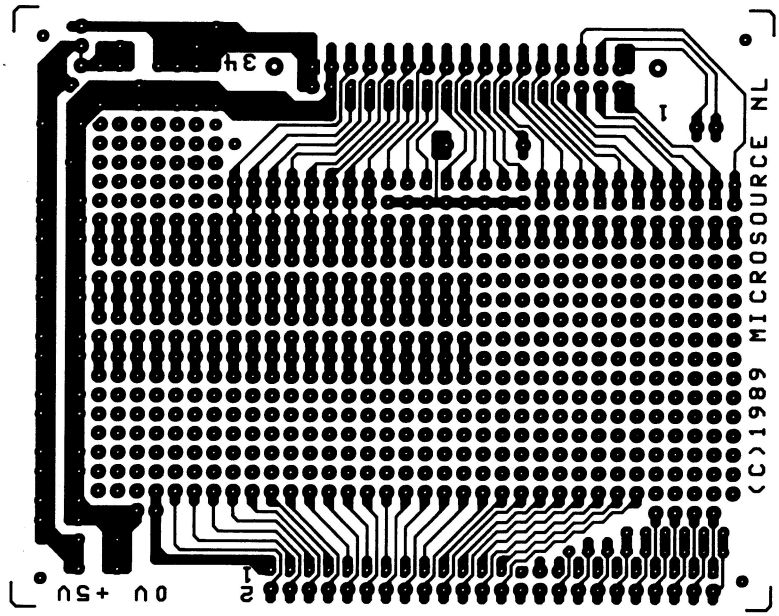
Op basis van dit ontwerp kan eenvoudig zelf een specifieke print ontworpen worden.

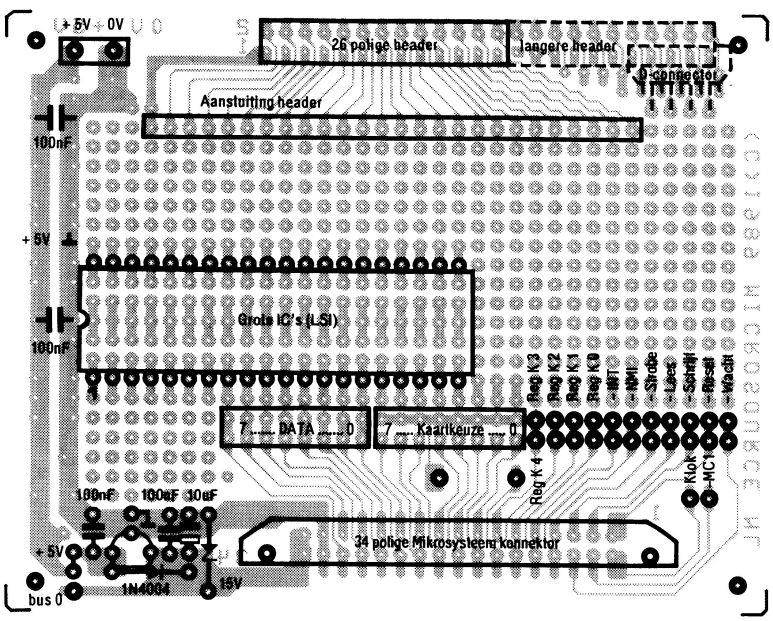


Figuur 2-6.

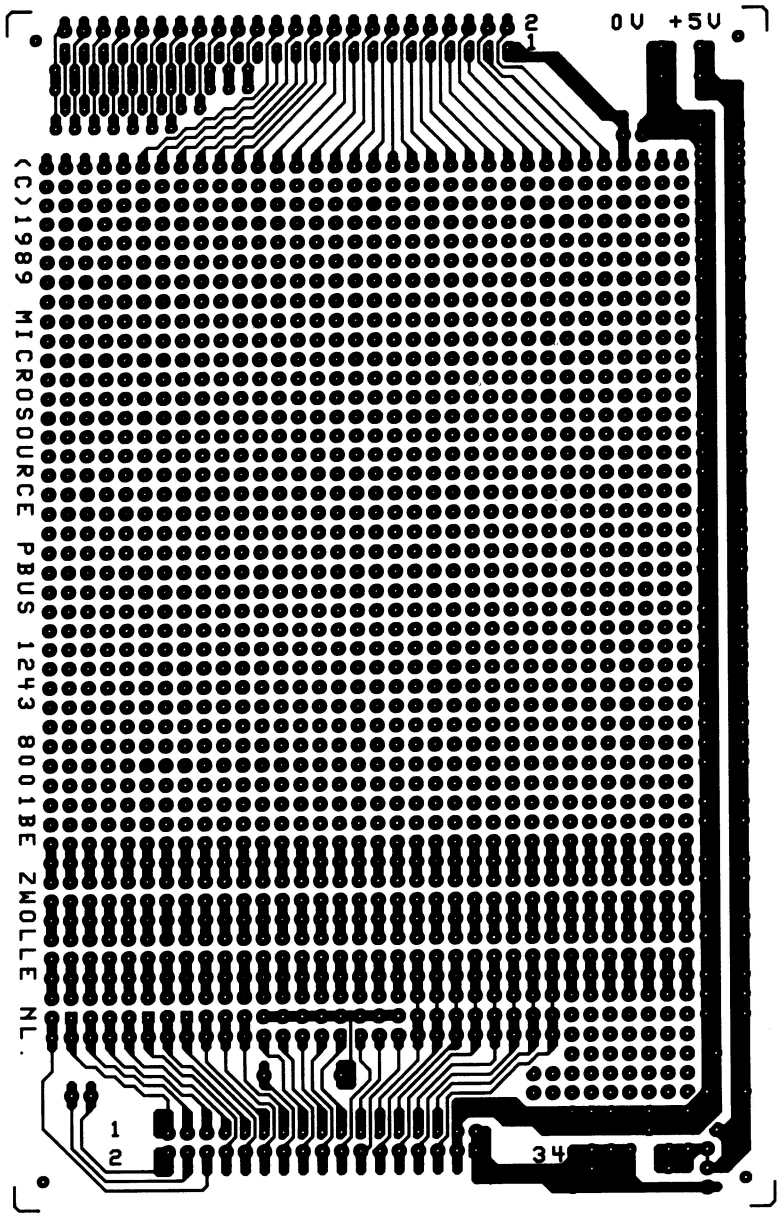
Maak eerst een goede kopie. Het beste gaat dat bij een drukkerij, waar men een "copyproof" kan maken. Een fotokopie is eventueel ook geschikt. De eilanden die niet gebruikt worden, kunnen wit afgedekt worden. Dat gaat goed met speciale witte fotokopie korrektielak. De verbindingen kunnen met een technische inktpen van bijvoorbeeld 0,25 mm∅ getekend worden. Beter is het om speciale tape voor het plakken van printsporen te gebruiken. Over het algemeen is het geen goed idee om te proberen een komplete routing voor een print te vinden. Vooral de voedingsbedrading en lange verbindingen kunnen beter met massief montage draad gemaakt worden. Let er op dat daarvoor eilanden overblijven als de overbodige eilanden weggewerkt worden.
Als het uiterlijk en de kompaktheid van de print niet erg belangrijk zijn, kan het afdekken van de eilanden achterwege blijven. De verbindingen kunnen van eiland tot eiland getekend worden. Eventueel kunnen de niet gebruikte eilanden daarna nog afgedekt worden, maar dat is natuurlijk niet eens nodig.

2.2.1.1 Er is ook een "aansluitprint" afgebeeld. Deze print wordt via een bandkabel op de 26-polige headerstrip van de basiskaarten aangesloten. Op deze print kunnen kroonstenen voor printmontage worden gezet. Met name voor experimenten kunnen dan gemakkelijk verbindingen gemaakt worden. Verder is er ruimte voor een +5 V-stabilisatie, zodat de vervolgelektronica apart gevoed kan worden vanaf de centrale +8 V voeding. De verbinding tussen de massa van de basiskaart en de massa van de aansluitprint kan via een jumper gemaakt worden. Bij gebruik van de voedingsstabilisatie op deze print, moet deze jumper open zijn. De massa's worden dan bij de voeding verbonden, zie het hoofdstuk storingsonderdrukking. Er zijn voor de massa en de +5 V elk twee aansluitpunten aanwezig.



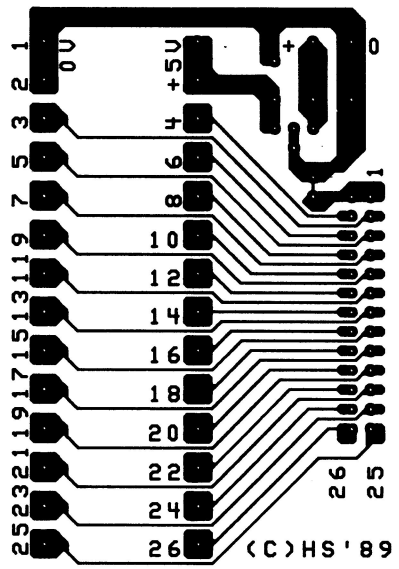


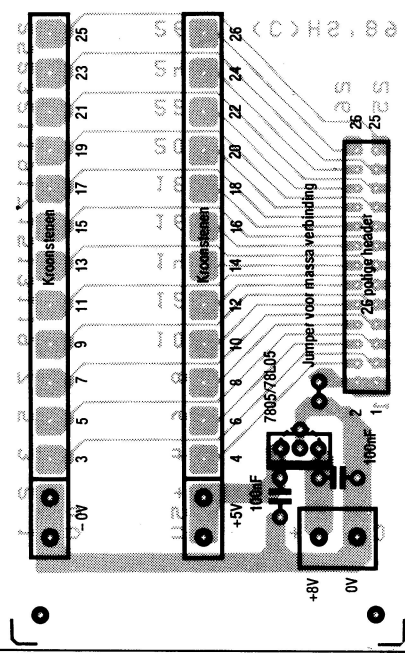
Figuur 2-7A en 2-7B. Print en komponentenopstelling van de universele basiskaart.



Figuur 2-8. Voor de meer komplexe toepassingen een basiskaart op euroformaat.

Figuur 2-9A en 2-9B. Print en komponentenopstelling van de aansluitprint.





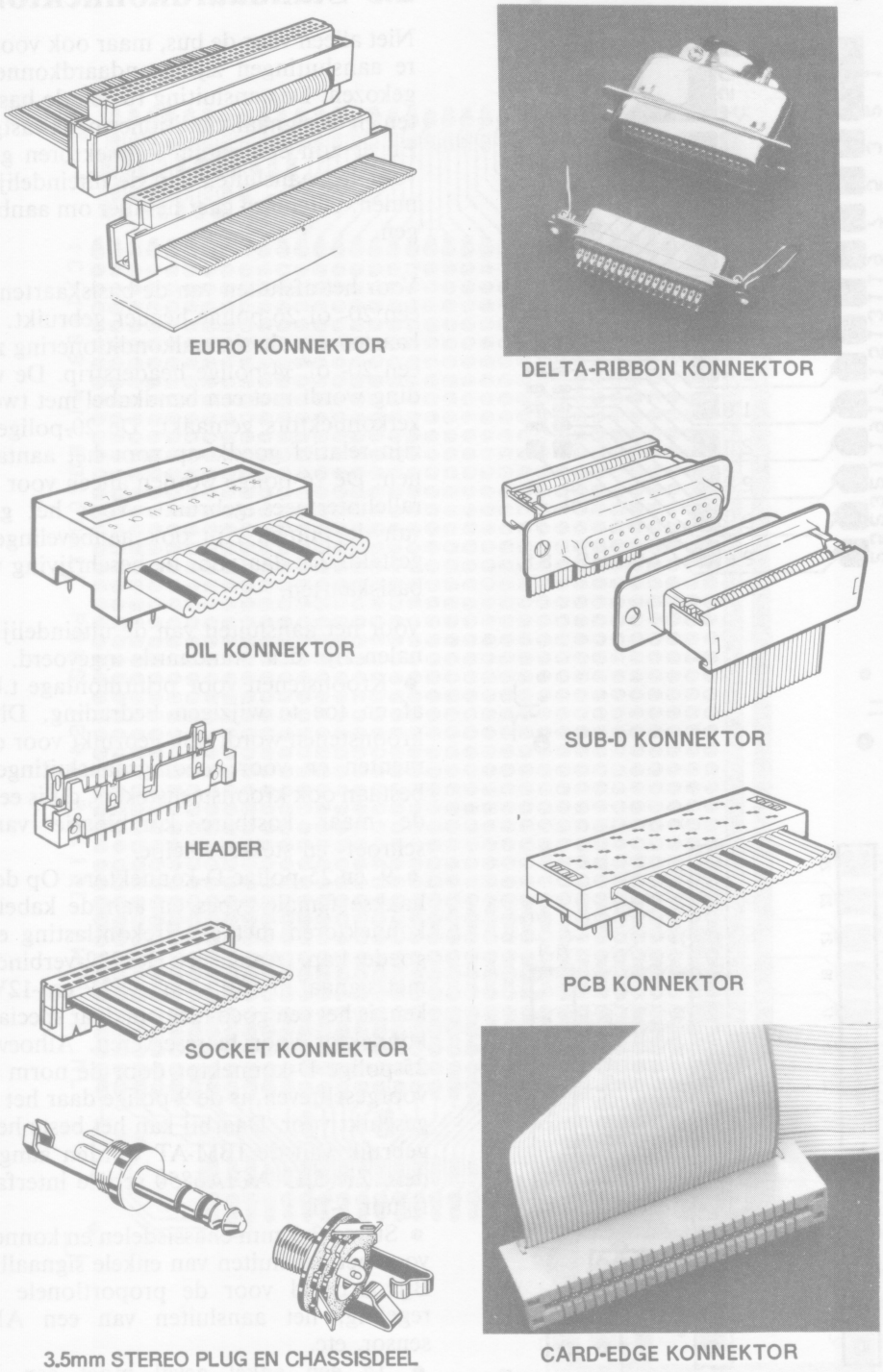
2.3 Standaardkonnektoren

Niet alleen voor de bus, maar ook voor andere aansluitingen zijn standaardkonnektoren gekozen. De aansluiting tussen de basiskaarten en de signaalkonditionering is vastgelegd. En er zijn een aantal konnektoren gekozen voor het aansluiten van de uiteindelijke signalen. Uiteraard gaat het hier om aanbevelingen.

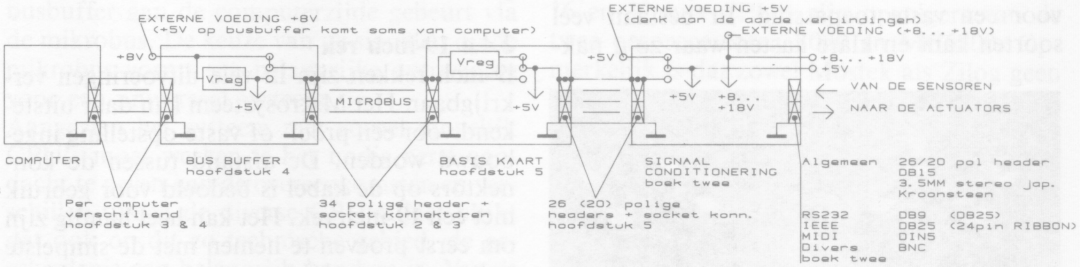
Voor het afsluiten van de basiskaarten wordt een 20- of 26-polige header gebruikt. Op de kaarten van de signaalkonditionering zit ook een 20- of 34-polige headerstrip. De verbinding wordt met een bandkabel met twee socketkonnektors gemaakt. De 20-polige types zijn relatief goedkoop voor het aantal pennen. De 26-polige worden alleen voor de parallelinterfaces gebruikt. Voor het gebruik van de pinnen zijn ook aanbevelingen opgesteld. Zie daarvoor de beschrijving van de basiskaarten.

Voor het aansluiten van de uiteindelijke signalen zijn drie standaards ingevoerd.

- Kroonstenen voor printmontage t.b.v. zo af en toe te wijzigen bedrading. Dit type kroonstenen wordt ook gebruikt voor experimenten en voor voedingsaansluitingen. Er bestaan ook kroonsteenstekers, dit is een goede maar kostbare kombinatie van het schroef- en stekerprincipe.
- 9- en 25-polige D-konnektors. Op de print haakse female types en aan de kabel male konnektoren met een trekontlasting en een goede kap. Aangezien RS232-verbindingen met signaal niveau's van +12V en -12V werken, is het een goed idee om daar speciaal een konnektor voor te reserveren. Alhoewel de 25-polige D-konnektor door de norm wordt voorgeschreven, is de 9-polige daar het meest geschikt voor. Daarbij kan het beste het pingebruik van de IBM-AT worden aangehouden. Zie 5.15 ACIA6850 seriële interface en figuur 5-11.
- Stereo 3.5 mm chassisdelen en konnektors voor het aansluiten van enkele signaallijnen. Bijvoorbeeld voor de proportionele 220V-regeling, het aansluiten van een AD590-sensor, etc.
- In een enkel geval moet een BNC-chassisdeel en -konnektor worden gebruikt. Dit kan geen standaardtype worden genoemd.



Figuur 2-10. Standaardkonnektoren



Figuur 2-11. In deze figuur is een overzicht gegeven van alle aanbevolen stekerverbindingen. Daarbij is ook meteen de opzet van de voeding aangegeven.

2.4 De opbouw kan op verschillende manieren gebeuren

2.4.1 Grondplaat

De eenvoudigste uitvoering is goed geschikt voor experimenten waarbij men nog van alles aan de kaarten wil meten of bijstellen, of waarbij de uiteindelijke samenstelling van het systeem nog totaal onbekend is. Bij deze uitvoering worden de kaarten met kaartgeleiders op een grondplaat van bijvoorbeeld plexiglas gezet.

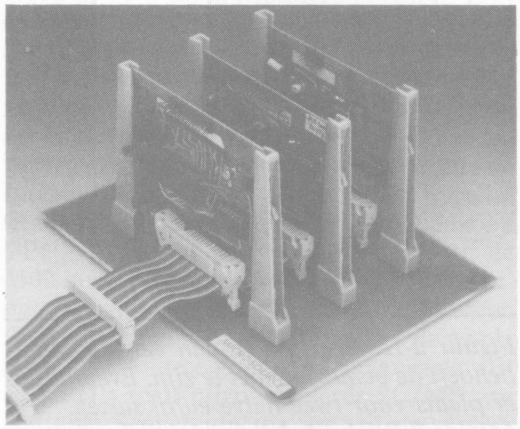


Foto 2. De grondplaat uitgevoerd in plexiglas.

De grondplaat voor 3 kaarten is 20 cm breed en 15 cm lang, de afstand tussen de kaarten is 4.5 cm. Deze maat komt overeen met de standaard voor eurokasten (4.445 cm.). De breedte van de gatenrij hangt af van de gebruikte kaartsteunen. En zal vaak iets meer dan 10 cm zijn.

2.4.2 Plexiglas

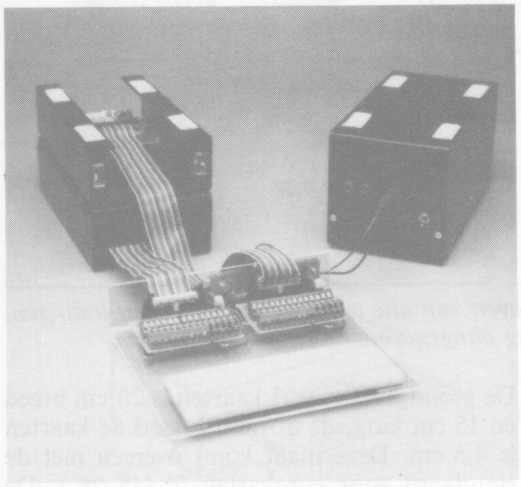
Van plexiglas kan ook op eenvoudige wijze een permanente behuizing gemaakt worden. De behuizing van een kaart kan voorzien worden van zelfklevend klittenband voor het stapelen. Daarmee ontstaat een goed toegankelijk en toch redelijk stevig geheel. Om goed te funktioneren moeten deze kastjes vrij hoog zijn, zodat de konnektors op meer dan standaardafstand op de bus moeten worden gezet. Willen we deze behuizing gebruiken, dan moet daar dus bij het persen van de konnektors rekening mee worden gehouden. Een soortgelijke opbouw wordt verkregen door elke basiskaart in een kant en klare kast te bouwen. Deze kunnen dan ook met klittenband stapelbaar worden gemaakt. Het voordeel van deze aanpak is dat een basiskaart samen met andere elektronica kompleet per toepassing in een kastje gebouwd kan worden. Aan de ene kant zit dan de mikrobuskonnektor, aan de ander kant zitten de aansluitingen voor de gebruiker. Op die manier ontstaat een zeer werkbaar modulair systeem. Zie foto 3 en 4 en figuur 2-12 voor bijzonderheden en konstruktie.

2.4.3 Stevig en kompakt

De kaarten kunnen ook met M3-bouten en afstandsbussen stevig en kompakt samen gebouwd worden. Dit is de beste opbouw wijze voor een vaste toepassing. Er bestaan veel soorten kant en klare kasten waar zo'n pakket in ingebouwd kan worden. Op de hoeken van de kaarten is een plaats voorgeschreven waar een 3 of 4 mm gat moet komen. Zie figuur 2-6 e.v..

2.4.4 19-inch rek

19-inch rekken zijn in vele uitvoeringen verkrijgbaar. Het Mikrosysteem kan daar uitstekend voor een proef- of vaste-opstelling ingebouwd worden. De afstand tussen de konnektors op de kabel is bedoeld voor gebruik met een 19-inch rek. Het kan heel handig zijn om eerst proeven te nemen met de simpelste opbouw, grondplaat met kaartgeleiders. Daarna kan het hele systeem ongewijzigd zo in een 19-inch rek worden geschoven.



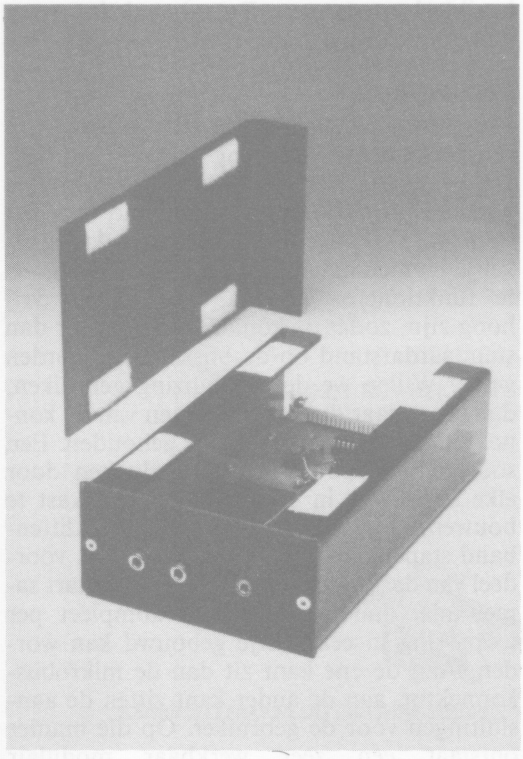
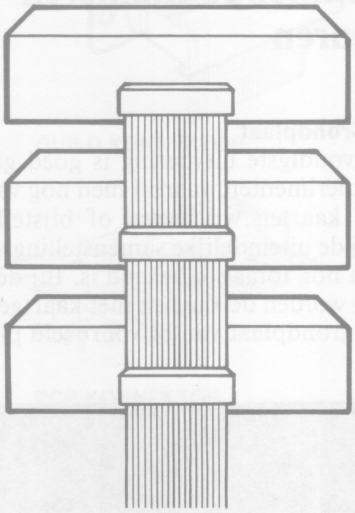


Foto 3 en 4. Een praktijkvoorbeeld van een plexiglas behuizing.



899007 - 2 - 12

Figuur 2-12. Veel groter dan een eurokaart behoeft de behuizing niet te zijn. Eventueel is er plaats voor twee halve eurokaarten. Met de mikrobuskabel en -konnektors komt de verbinding tussen de basiskaarten en de busbuffer tot stand.

3. Busbeschrijving

De kommunikatie tussen Mikrosysteem en de busbuffer aan de computerzijde gebeurt via de mikrobus. De keuze van de signalen op de mikrobus vormt een belangrijke overweging voor een universeel systeem.
Aangezien het systeem met zoveel mogelijk CPU's moet werken is het nodig eerst aandacht te geven aan de overeenkomsten en verschillen tussen de diverse CPU's. Het blijkt dat ook op dit zo technische gebied, de geschiedenis een belangrijk handvat is. Vanuit de geschiedenis van de microprocessor is een goed inzicht te krijgen in de samenhang tussen de CPU's. Die informatie wordt in dit hoofdstuk benut om de busspecifikatie vast te leggen.

3.1 De geschiedenis van de microprocessor.

Bij goede beschouwing blijken er twee belangrijke CPU- ''stammen'' te bestaan, de 8XXX- en de 6XXX-stam. De Intel 8XXX-stam is de oudste. In 1971 maakt Intel een 4-bits CPU, de 4004, in 1972 werd die opgevolgd door de 8-bits 8008. In 1973 werd de eerste echte goed bruikbare 8-bits microprocessor uitgebracht, de 8080. De 8080 vormde samen met een 8228 buskontroller en 8224 timer-IC, een CPU. De 8085 is eigenlijk niet meer dan de 8080, 8228 en 8224 in één IC. De Zilog Z80 is een afstammeling van de 8080. De Motorola 6XXX-stam is de andere hoofdgroep in CPU-land. Motorola bracht in 1974 de 6800-CPU uit. De Mostek 6502 is daar een afstammeling van.
Het sukses van de 6502- en Z80-processoren zit in het feit dat ze goedkoop waren. Dat kon doordat Mostek en Zilog allebei door exwerknemers van de grote broers Motorola en Intel opgericht waren. Met hun daar opgedane ervaring konden ze zelf relatief goedkoop CPU's gaan produceren. De komst van de 6502 in 1975 heeft het begin van de huiscomputerrevolutie ingeluid. Daardoor werden 'low-cost' single board systemen als de Apple mogelijk. Andere goedkope, maar eigenwijze, CPU's zoals bijvoorbeeld de SC/MP van National Semiconductor, etc. zijn nu onbekende fenomenen aan de CPU-sterrenhemel. De Intel 8088, 8086, 80186, 80286 en 80386 en de uitgebreide Motorola 68000 familie van 16 en 32 bits CPU's zijn opvolgers van de twee oerprocessoren 8080 en MC6800. Opmerkelijk is dat zowel Mostek als Zilog geen rol spelen bij de bredere CPU's. Andere CPU series van fabrikanten zoals National Semiconductor (NS320XX-serie) spelen wel een belangrijke rol in de markt van de 'bredere' CPU's, maar niet bij de 8-bitters. Dus laten we die voor gebruik met het Mikrosysteem buiten beschouwing. Tegenwoordig is er een ontwikkeling naar programmeerbare hardware waarmee zelfs CPU's worden gemaakt, zoals de NOVIX Forth chip. Ook andere computerstrukturen komen meer in de belangstelling, bijvoorbeeld de Connektion Machine en de Inmos Transputer. Dat soort CPU's vinden we vaak als add-on kaarten voor met name MS-DOS-machines en 32-bits 6800X-computers zoals de Apple MacIntosh II.

De CPU's in de bekende computers behoren allemaal tot de twee genoemde stammen. Eén van de principiële verschillen tussen de twee stammen CPU's zit in de behandeling van de in- en uitvoer. De 8XXX-serie beschikt over een speciale signaallijn om aparte geheugen- en I/O-gebieden aan te geven. De 6XXX-familie heeft een aaneengesloten adresgebied, waarin ook alle I/O-handelingen plaatsvinden. We noemen het eerste I/O-mapped invoer en uitvoer en het tweede memory-mapped I/O. Bij de bespreking van de adressignalen wordt daar verder op in gegaan.

Zoals al eerder gezegd, voor meet- en regel toepassingen vormen 8-bits computers vaak kosteneffektieve en technisch voldoende oplossingen. Er bestaan diverse manieren om met een 8-bits computer met een grotere (bijv. 16-bits) resolutie te werken. In het tweede boek komt het nauwkeurig werken met een timer/teller en voltage-frekwentie omzetters aan bod. Er bestaan ook speciale analoog-digitaal en digitaal-analoog omzetters die ondanks een grotere resolutie toch direkt op een 8-bits bus kunnen worden aangesloten. De I/O-aktie wordt dan in twee keer uitgevoerd. Er kan dus met een 8-bits computer met een hogere resolutie worden gemeten en geregeld. De onnauwkeurigheid van de

sensoren en de door de praktijk vereiste nauwkeurigheid zullen over het algemeen de grenzen bepalen, niet het gebruik van een 8- of 16-bits CPU. Wel belangrijk is het feit dat de snelheid van de rekenkundige bewerkingen van de gegevens en daarmee de reaktietijd van een systeem, met een bredere CPU beter kunnen zijn. Anderzijds kan een systeem dat bestaat uit een groot aantal (goedkope) CPU's heel snel reageren op een proces. Daarmee kan een samenstel van 8-bits CPU's die onderling kommuniceren sneller zijn dan één groot systeem waar alle randapparaten door één 16- of 32-bits CPU bediend moeten worden. Storingen hebben ook minder ernstige gevolgen voor een gedistribueerd systeem. Een professioneel systeem kan al gauw bestaan uit een stel aparte kleine Mikrosystemen die vanuit één centrale computer gekoördineerd worden.

3.2 Signalen op de bus.

3.2.1 De computerbus

Vrijwel elke digitale computer is gebouwd volgens de parallelle busstruktuur. Een bus bestaat uit een aantal parallel lopende signaallijnen die een afgesproken betekenis hebben. De interne delen van een computer worden parallel aan elkaar op de bus aangesloten en kommuniceren via de bus met elkaar. We onderscheiden de data-, de adres- en de kontrole-lijnen.

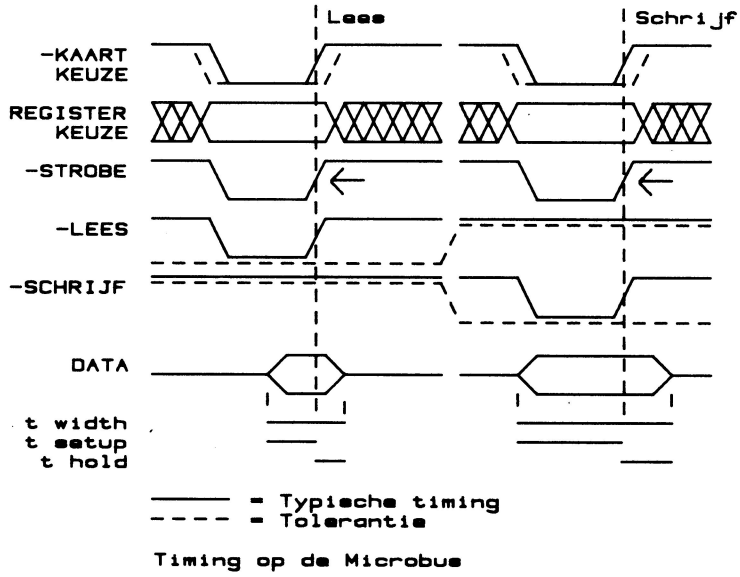
De **data**lijnen vervoeren de informatie. De informatie bestaat uit het hoog of laag zijn van de 8 datalijnen. Daarmee kunnen 256 verschillende toestanden overgebracht worden.

De **adres**lijnen geven aan waar we bezig zijn. Op elk moment wordt slechts één schakeling door de CPU via de bus aangesproken.

De **kontrole**lijnen vormen een direkte besturingsverbinding tussen de CPU en de invoer-/uitvoerschakelingen. Hiermee worden diverse 'huishoudelijke' taken uitgevoerd, zoals aangeven waar en wanneer er gelezen of geschreven moet worden.

3.2.2 Invoer en uitvoer in het kort

Elke lees of schrijf aktie wordt bij elke CPU in principe door een leespuls of schrijfpuls bestuurd. Dat wil zeggen een signaal dat vanuit een rust toestand gedurende enige tijd aktief wordt. Met dat signaal wordt de randschakeling bestuurd en dus de data overdracht geregeld. Die puls wordt samengesteld



Figuur 3-1. De timing op de mikrobus

uit drie gegevens die door de CPU verstuurd worden. Namelijk:

- Welke schakeling bedoeld is.
- Wat er moet gebeuren: lezen of schrijven.
- Wanneer het moet gebeuren.

Elke CPU-familie heeft zijn eigen opvattingen over hoe dit aangepakt moet worden. Dat is het onderwerp van de rest van dit hoofdstuk. Per adres kunnen twee pulsen voorkomen: een lees- of een schrijfopdracht. Op de busbuffer wordt gezorgd dat vanaf elke CPU op de mikrobus alle signalen aanwezig zijn om deze lees- of schrijfpuls op de basiskaarten samen te stellen. De volgende drie gegevens worden via zestien lijnen op de mikrobus aan de basiskaarten doorgegeven.

1. *adres* = 8 –Kaartkeuzelijnen en 5 Registerkeuzelijnen.
   * De CPU wil met de geadresseerde I/O werken.
2. *richting* = –Lees of –Schrijf.
   * De CPU wil lezen of schrijven.
3. *timing* = –Strobe.
   * Bepaalt het moment van dataoverdracht.

In totaal worden dus 16 van de 34 lijnen op de mikrobus gebruikt om de lees- en schrijfpulsen op de basiskaarten te verzorgen.
De richting- en timingsignalen zijn, zolang de CPU werkt, geregeld aktief. De adressignalen bepalen welke aangesloten schakeling bedoeld wordt. De I/O-aktie begint als alle drie signalen aktief worden, dus als de signalen laag worden. De adres- en richtingsignalen moeten voor, of op zijn laatst tegelijk met, de timing aktief worden, nooit erna. De dalende flank van –Strobe geeft het echte begin van de I/O-aktie aan en de stijgende flank het eind.
Bij een leesaktie moet de randschakeling binnen een bepaalde tijd na de dalende –Strobeflank zorgen dat de data beschikbaar is.
Bij een schrijfaktie, moet de data door de randschakeling op de stijgende –Strobeflank van de databus overgenomen worden.
De drie lijnen worden op de basiskaarten op diverse manieren verbonden, dit hangt af van het gebruikte periferie-IC. Als voorbeeld is de TTL-parallelpoort het duidelijkst, zie paragraaf 5.7 en schema 5-1. Vanuit positieve logica gezien komt het altijd op een OF-poort neer. Als de ene OF de andere lijn hoog is, blijft de uitgang naar het periferie-IC inaktief. Pas als ze alle drie laag worden, wordt een signaal aan het periferie-IC doorgegeven, de lees of schrijf puls. Ook al worden de signalen niet letterlijk via een poort naar een lees- of schrijfingang gestuurd, er is altijd sprake van een lees- of schrijfpuls, die uit een aantal signalen op de bus samengesteld worden. Dus ook bij een periferie-IC waarop de kontrole-signalen apart, of op een of andere manier gemengd, worden aangesloten. Daar worden de drie basissignalen intern verwerkt, soms met specifieke timings-eisen.
Nadat de randschakeling is aangesproken, krijgt hij enige tijd om van de schrik te bekomen en te reageren. Bij een leesopdracht wordt de informatie opgehaald, bij een schrijfopdracht gaat hij op scherp staan.
Als nu één van de drie hoog wordt, is het eind van de puls gekomen. Het signaal naar de randschakeling wordt weer inaktief. Dit zal door de stijgende flank van het –Strobe signaal gebeuren. De randschakeling weet nu dat de informatie overgedragen moet worden. Bij een leesopdracht zal de randschakeling de informatie nog gedurende enige tijd aanbieden om de CPU de tijd te geven de data over te nemen. Bij een schrijfopdracht zal het periferie-IC de data zo snel mogelijk na de flank overnemen, terwijl de CPU het nog even aanbiedt. Daarna wordt door de randschakeling op een nieuwe opdracht gewacht. Elk logisch IC levert enige vertraging op bij het doorgeven van niveau veranderingen. Als de vertraging door de busbuffer-IC's te lang wordt, missen de CPU en randschakeling elkaar. De data 'staat nog niet gereed' (lees) of 'valt in het water' (schrijf).

Dit verhaal over de timing is natuurlijk niet in databoeken terug te vinden. Wie daar in kijkt zal een heleboel verschillende timinggegevens zien. De belangrijkste zijn de volgende drie:
A. De minimale breedte van de schrijfpuls of de leespuls. Dit hangt nauw samen met de klokfrekwentie van de processor en de snelheid waarvoor het IC gemaakt is. In datasheets heet dit vaak zoiets als T_w.
B. De data setup time, T_s. Dit is de tijd dat de data op de databus beschikbaar is voordat de data-overdracht plaats vindt.
C. De hold time, T_h. Dit is de tijd dat de data op de databus beschikbaar blijft na de strobeflank die de data-overdracht regelt.

Het voorgaande verhaal gaat over de mikrocomputer in het algemeen. De verschillen tussen de diverse CPU-families blijken onder meer te bestaan uit de manier waarop deze informatie wordt doorgegeven. De ene heeft een lijn voor lees/–schrijf, de andere een lijn voor –lees en een lijn voor –schrijf. De ene heeft een aparte strobe, de andere heeft de timinginformatie in andere signalen verwerkt. Al deze op het eerste gezicht, grote verschillen blijken in de praktijk slechts uiterlijke verschillen te zijn. De mikrobus beschikt over alle mogelijke kontrolesignalen die voor invoer- en uitvoerwerk bij de diverse CPU-families worden gebruikt. Doordat alle kontrolesignalen door elke CPU gemaakt worden en altijd in laag aktieve vorm op de bus worden gezet, kan er op de basiskaarten zonder jumpers voor de kontrolesignalen worden gewerkt. We hoeven alleen maar met –Kaartkeuze voor een adres te kiezen. De basiskaarten zijn vanzelfsprekend op de mikrobus aangepast. Er hoeft dus op de basiskaarten niets per gebruikte CPU veranderd te worden. Elke basiskaart kan zonder aanpassing met de aangesloten computer gebruikt worden. De hele aanpassing aan de computer gebeurt op de busbuffer. Dit bepaalt het universele karakter van de mikrobus.

Aangezien het voorgaande de basis van de werking van het Mikrosysteem is wordt het hier nog eens in het kort herhaald.

Elke invoer- of uitvoeraktie wordt door een –lees- of –schrijfpuls bestuurd. Die puls bevat de volgende informatie:

adres – Hiermee kiest de CPU een bepaalde schakeling uit.

richting – De CPU geeft hiermee aan data te willen ontvangen (lees) of versturen (schrijf).

timing – Het moment waarop de data wordt overgedragen.

Op de mikrobus zijn alle kontrolesignalen voor invoer- en uitvoerwerk aanwezig en ze zijn allemaal **laag** aktief. Als ze tegelijk laag zijn, moet de randschakeling aktie ondernemen.

3.2.3 Synchrone en Asynchrone bussen

We onderscheiden synchrone en asynchrone bussen. Bij een asynchrone bus verwacht de CPU een signaal van de periferie ten teken dat de I/O-aktie voltooid is. Bij een synchrone bus lopen alle gebeurtenissen in de pas met het timingsignaal. De CPU ontvangt geen bevestiging van de periferie, maar neemt aan dat alle opdrachten netjes synchroon met het timingsignaal uitgevoerd worden. Het voordeel van een asynchrone bus is dat de snelheid van het datatransport per periferieschakeling op de maximale snelheid kan gebeuren. Bij een synchrone bus moeten alle IC's dezelfde minimale timing hebben. Daar staat tegenover dat een asynchrone bus ingewikkelder is om mee te werken. Alle bekende 8-bits CPU's hebben een synchrone bus. Wij werken ook met een synchrone bus waarbij het Strobe-signaal voor de timing zorgt.

3.2.4 Flank- of niveaudetektie

We kunnen ook nog een onderscheid maken tussen de signalen op de bus, naar de wijze waarop ze 'geldig' zijn en een reaktie veroorzaken.

De data- en adreslijnen zijn niveaugevoelig. Dat wil zeggen dat het niveau, hoog of laag, hun effekt bepaald. De niveaus op deze lijnen worden bekeken op het moment van de aktieve flank van het timingsignaal. Ze moeten afhankelijk van hun doel enige tijd voor en na die flank stabiel zijn. De adreslijnen moeten bijvoorbeeld veel langer stabiel zijn dan de datalijnen.

De meeste kontrolelijnen zijn flankgevoelig. Een flankgevoelig signaal zal een aktie oproepen bij de niveau-overgang. Dat kan een dalende flank zijn, bij een overgang van hoog naar laag. Of een stijgende flank van laag naar hoog. Met name het strobesignaal is daar een voorbeeld van. De interruptlijnen zijn bij sommige CPU's flank-, bij andere niveaugevoelig.

3.2.5 Open-kollektorlijnen

Sommige lijnen heten open-kollektorlijnen. Voor een goed begrip van het funktioneren daarvan is het van belang om de eenvoudigste voorstelling van een transistor als gelijkspanningsschakelaar te kennen. Daarbij wordt de transistor als een relais beschouwd. Als er een spanning op de basis wordt gezet, lijkt het alsof er een schakelaar tussen de twee andere aansluitingen, de emitter en de kollektor, gesloten wordt. Dit beeld van een transistor is

zeer primitief, maar voldoende voor deze uitleg. In het tweede boek wordt de werking van de transistor als schakelaar verder uitgelegd. Een open-kollektorlijn kan gezien worden als een lijn waarop één schakelkontakt van het relais (de transistor) is aangesloten. Het andere schakelkontakt wordt op de 0 V-(massa-) lijn aangesloten. Als de transistor wordt aangestuurd zal de lijn dus met de 0 V verbonden worden. Ergens op de lijn wordt een weerstand naar de positieve voeding gelegd, naar +5 V dus. De waarde ligt typisch tussen de 3k3 en 10k. Als de schakelaar open is, zorgt die weerstand ervoor dat de lijn hoog is. De weerstand moet zo groot zijn dat er geen te grote stroom gaat lopen. Een open-kollektorlijn is dus altijd laag aktief. Een belangrijke eigenschap van een open-kollektorlijn is het feit dat er meerdere uitgangen op aangesloten kunnen worden en dat deze tegelijk aktief mogen zijn. De lijn is laag zo gauw en zo lang, als er één of meerdere uitgangen laag aktief zijn. Daarom worden met name voor de interrupt-ingangen open-kollektorlijnen gebruikt.

3.2.6 Aansluiten op een computer

De meeste computers hebben een externe busaansluiting waarbij vaak een aantal andere signalen zoals voeding, video, etc. aan de processorbus zijn toegevoegd. Het Mikrosysteem wordt op deze externe busaansluiting van een computer aangesloten. Soms is maar een klein deel van de bussignalen naar buiten gevoerd. Zo gauw er naast de data een lees- en schrijfpuls met de juiste timing uit te halen valt kan er met I/O gewerkt worden. Om goed met het Mikrosysteem te kunnen werken moeten we over een aantal signalen beschikken die in het volgende worden besproken.

3.3 De gebruikte bussignalen

Op de bandkabel hebben we de signalen op een logische wijze ingedeeld.

We onderscheiden de volgende groepen signalen op de bus:

lijn 1 t/m 9 : kontrole
10 t/m 22 : adres
23 t/m 30 : data
31 t/m 34 : voeding

1	−RESET	2	+KLok
3	−SCHRIJF	4	−Machine Cyclus
5	−LEES	6	−WACHT
7	−STROBE	8	−Non Maskable Interrupt
9	−INTerrupt	10	+Register 0
11	+Register 1	12	+Register 2
13	+Register 3	14	+Register 4
15	−Kaartkeuze 0	16	−Kaartkeuze 1
17	−Kaartkeuze 2	18	−Kaartkeuze 3
19	−Kaartkeuze 4	20	−Kaartkeuze 5
21	−Kaartkeuze 6	22	−Kaartkeuze 7
23	+Data 0	24	+Data 1
25	+Data 2	26	+Data 3
27	+Data 4	28	+Data 5
29	+Data 6	30	+Data 7
31	0 V (massa)	32	0 V (massa)
33	+5 V / +8 V-voeding	34	+5 V / +8 V-voeding

Tabel 3-1. Pinbezetting van de mikrobus basiskaartkonnektor.

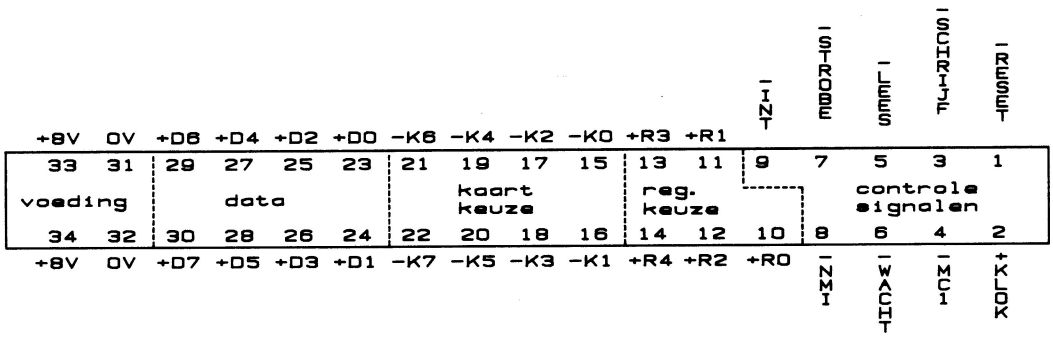
LET OP: Deze nummering is geldig voor de basiskaarten. Op de busbuffer zal de nummering van de mikrobusaansluiting zo werken dat de markering niet bij pennummer 1 zit, maar bij pennummer 34 !!! Dat is iets om goed op te letten bij nabouw, *na*meten is weten!

3.3.1 De voedingslijnen

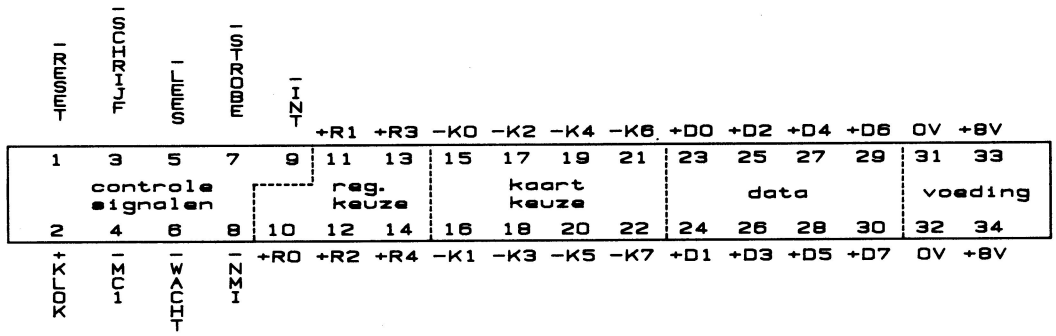
De voeding gebruikt twee draden van de buskabel voor nul volt (massa) en twee voor plus volt. Ze kunnen samen maximaal 2 A voeren. De 0 V moet verbonden worden met de 0 V (massa) van de computer en van de externe voeding als die gebruikt wordt. Op de +Volt zal over het algemeen +8 V gezet worden, maar +5 V kan bij een bepaalde voedingopzet ook. De +8 V is nodig voor gebruik met sommige analoge invoer- of uitvoerkaarten. Zie ook hoofdstuk 7, Voeding.

3.3.2 De databus

Via de databus worden de gegevens tussen de delen van het computersysteem vervoerd. Het transporteren van data is de wezenlijke funktie van de computerbus, alle andere signalen zijn ervoor bedoeld om het datatransport te regelen of te ondersteunen. De datalijnen funktioneren bij alle CPU's gelijk.
Bij de 8080, Z80, 6800 en 6502 die allemaal 8-bits CPU's zijn is de databus 8-bits breed.



PIN NUMMERING BUS KONNEKTOR BASISKAARTEN KOMPONENT ZIJDE



PIN NUMMERING BUS KONNEKTOR BASISKAARTEN PRINT ZIJDE

Figuur 3-2.

Bij een 16-bits CPU bestaat de *interne* databus uit 16 lijnen. Wij werken voornamelijk met 8-bits processoren, behalve de 68008 en de 8088, maar die werken allebei goed met 8-bits periferie-IC's. De 8088 van de IBM-PC heeft zelfs slechts 8 datalijnverbindingen op het ic. De kracht van de 16- en meer bits CPU's wordt vaak gebruikt voor een komfortabeler besturingssysteem of om met een hogere programmeertaal toch programma's te schrijven die snel genoeg zijn. Voor regelen en besturen hebben we vrijwel altijd genoeg aan 8-bits data. Maar ook voor metingen is het vaak voldoende, er zijn ook manieren om met een 8-bits computer nauwkeuriger dan 1:255 te werken. Bij audio- en videodigitalisering werken we liever met minimaal 12 of nog beter met 14 of 16 bits.

Als een datalijn hoog is wordt hij 'waar' genoemd of '1'. De waarde van de lijn is 2 tot de macht van zijn lijnnummer. Bijvoorbeeld, als datalijn 5 hoog is, is zijn waarde $2^5 = 32$. Als de lijn laag is, is zijn waarde nul. Door de exponentiële waarde van alle lijnen op te tellen krijgt men de decimale waarde van de de datalijnen (0-255).

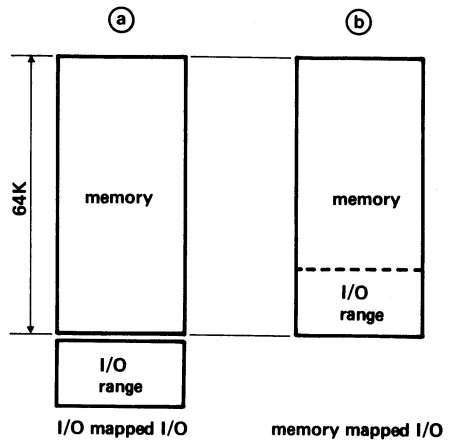
De 8 datalijnen op de mikrobus zijn gebufferd voor invoer en voor uitvoer (bidirektioneel). Alle basiskaarten worden met de databus verbonden.

3.3.3 De adreslijnen

De adreslijnen geven aan met welke lokatie in het adresgebied de CPU op dat moment werkt. Het aantal adreslijnen is bij 8-bits

CPU's vrijwel altijd 16. Daarmee kunnen 65536 (64 kbyte = 2^{16}) verschillende adressen gekozen worden. Bij 16- en 32-bitters is dat per type CPU verschillend. Het aantal adreslijnen bepaalt hoe groot het direkte adresseringsbereik van een processor is. De 8xxx en de 6xxx stammen verzorgen de adressering bij invoer/uitvoer verschillend. We noemen dat I/O-mapped invoer/uitvoer of Memory-mapped I/O. Bij I/O-mapped I/O is er een speciaal kontrolesignaal op de CPU aanwezig om aan te geven of het adres op de adreslijnen een RAM-lokatie of dat het een I/O plaats betreft. Bij een memory-mapped I/O-werkwijze zitten geheugen en invoer-/uitvoer in hetzelfde (64Kbyte) adresgeheugen. Een I/O-mapped systeem heeft dus in de praktijk een groter geheugengebied beschikbaar. Die lijn kunnen we eigenlijk gewoon als een extra adreslijn beschouwen. Voor wat betreft de instrukties van de CPU zijn er ook verschillen. Bij I/O-mapped I/O zou je kunnen zeggen dat er sprake is van een 'programma- en gegevensgebied' en een 'I/O-gebied'. Daarbij beschikt de CPU over, voor beide gebieden, specifieke instrukties. De I/O kan dan "naast" de 64 k RAM aangesloten worden, bij memory-mapped I/O gaat het I/O-gebied dus van de maximaal 64 k RAM af. Dit heeft ook gevolgen voor een eventueel standaard operating system. Bij de Z80 kan de softwareschrijver er van uitgaan dat het gehele gebied van adres 0 tot adres 65536 als programmaruimte beschikbaar is. Hoe een computerfabrikant zijn I/O ook aanpakt, de software loopt altijd in het zelfde RAM-gebied. Bij een 6502 ligt dat veel moeilijker. Afhankelijk van de beslissingen van dę computerfabrikant wordt een deel van het RAM-gebied voor I/O gebruikt. Daar is ook mede uit te verklaren dat er voor de Z80 in de vorm van CP/M wel een goed operating system bestaat, terwijl FLEX voor de 6502 nooit van de grond is gekomen.

Beide methode's hebben hun specifieke eigenschappen die vooral invloed hebben op: adresseringsbereik en dekoderingstechniek, timing van de I/O, beschikbare instrukties, efficiëntie van de instrukties en eventuele programma-eisen. Of I/O-mapping echt handiger is dan memory-mapping, is onderwerp van diskussie. Met een I/O-mapped systeem kan je in principe ook memory-mapped werken. De I/O wordt dan gewoon in het geheugengebied geplaatst. Uiteraard doet niemand dat, omdat de 64k geheugenruimte wel beter gebruikt kan worden.



Figuur 3-3. Memory-mapped en I/O-mapped I/O

Op de busbuffer wordt een groot deel van de adresdekodering verzorgd. Er hoeft op de basiskaarten niets aan adresdekodering te gebeuren, want er zijn 8 –Kaartkeuzesignalen beschikbaar die direkt bruikbaar zijn als gedekodeerd adressignaal. Als we meer dan 8 adressen willen gebruiken, is een aanvullende dekodering op de basiskaart nodig. Met de –Kaartkeuze- en Registerkeuzelijnen samen, kunnen meerdere adressen per kaart aangewezen worden. De registerkeuzelijnen kunnen ook nog gedekodeerd worden. Zo kan het maximale aantal adressen (256) binnen het Mikrosysteem bereikt worden.
Een computer heeft bepaalde adressen voor randapparaten (I/O) vrij, de rest wordt door de standaard-I/O zoals toetsenbord, printerinterface, etc. en/of het geheugen gebruikt. Bij sommige computers heeft de fabrikant richtlijnen voor het aansluiten van extra I/O gegeven. Hoe de adreslijnen aangesloten moeten worden zal per model computer verschillen.

De **adreslijnen** op de mikrobus bestaan uit:

8 –Kaartkeuzelijnen. Ze zijn genummerd van 0 tot en met 7, deze worden op de bus-

buffer met een dekodeer IC (HCT138) uit een aantal adressignalen samengesteld. De busbuffer wordt pas geaktiveerd als er op de adresbus een adres staat dat binnen het aan de mikrobus toegewezen gebied valt. De –Kaartkeuze wordt aktief voor een maximum van 32 adressen, (A0..4).
De –Kaartkeuze lijnen zijn LAAG aktieve uitgangen.

5 registerkeuzelijnen 0 t/m 4. De Registerkeuze lijnen kunnen worden gebruikt om te kiezen tussen de 32 mogelijke adressen per –Kaartkeuzesignaal. Er kan via een HCT138 dekodeer-IC met drie registerkeuze lijnen voor 8 unieke adreskeuzesignalen per –Kaartkeuze worden gezorgd. Niet alle computers hebben genoeg vrije ruimte om alle Registerkeuzelijnen aan te kunnen sluiten. De overgebleven Registerkeuzelijnen worden dan met de massa verbonden. We beschikken dan over minder adressen per –Kaartkeuzesignaal, verder niets aan de hand. De eerste drie (R0, R1 en R2) worden over het algemeen gebruikt om de registers van periferie-IC's aan te sturen. Als er zo weinig adresruimte is dat we de noodzakelijke Registerkeuzelijnen niet meer zouden kunnen aansturen, moeten we een van de adreslijnen die met de kaartkeuze multiplexer op de busbuffer (HCT138) is verbonden, als Registerkeuze nemen.
De Registerkeuze lijnen zijn 'hoog'-aktieve uitgangen.

Op de busbuffer wordt bepaald in welk 'basis-gebied' de mikrobus gaat vallen. We zoeken in de adres-kaart (memory-map) een zo groot mogelijk gebied (256 adressen is genoeg), waarvan we weten dat het vrij is voor I/O-gebruik en waarvan we weten dat zo min mogelijk andere randapparatuur van de diverse fabrikanten daar ook al gebruik van maakt. Op de universele busbuffer is een speciaal 'byte-vergelijker'-IC opgenomen om de adressering van de buffer eenvoudig instelbaar te maken. Vaak komt het voor dat men zelf een gebied moet zoeken dat vrij wordt gelaten door de specifieke interface's die men bij zijn computer heeft aangeschaft.

3.3.4 De kontrolelijnen

De kontrolelijnen verschillen per CPU familie nogal.Wij kunnen de kontrolesignalen verdelen in;
I/O-, Interrupt- en Systeemsignalen.
We maken onderscheid tussen randschakelingen die een geheugen of een invoer-/uitvoerfunktie hebben. Daarbij verschillen sommige van de benodigde of gewenste kontrolesignalen. Het Mikrosysteem is specifiek bedoeld voor het aansluiten van invoer-/uitvoer schakelingen, daarop is de keuze van de kontrolesignalen gebaseerd. Geheugen georiënteerde schakelingen zoals diskinterface, grafische displaykaart, etc. kunnen niet op de mikrobus worden aangesloten. Sommige van deze schakelingen gebruiken DMA, wat staat voor Direct Memory Access (direkte geheugentoegang). Deze klasse van randschakelingen kan zonder tussenkomst van de CPU rechtstreeks blokken geheugen vullen of lezen. Dat kan niet via de busbuffer van het Mikrosysteem. De keuze en de definitie van de kontrolesignalen maakt dat het Mikrosysteem met een groot aantal CPU's te gebruiken is. Op de busbuffer zorgen we ervoor dat de kontrolesignalen van de CPU omgezet worden naar de op de mikrobus gewenste kontrolesignalen. Met name de aktieve flank of het niveau moeten we nogal eens aanpassen. Daarvoor gebruiken we inverters en poorten. Zie schema 4-1 van de universele busbuffer.

De op de mikrobus gebruikte kontrolesignalen zijn:

I/O-signalen	7	–Strobe
	5	–Lees
	3	–Schrijf
Interruptsignalen	9	–INTerrupt
	8	–Non Maskable INTerrupt
Systeemsignalen	1	–Reset
	6	–Wacht
	4	–MC1
	2	Klok

3.3.5 Overzicht van de gebruikte kontrolesignalen

3.3.5.1 De I/O-signalen moeten bij elke randschakeling gebruikt worden. –Lees, –Schrijf en –Strobe zorgen samen met een adressignaal bestaande uit –Kaartkeuze en eventueel Registerkeuze, voor de schrijf- of leespuls waarmee de randschakeling wordt aangestuurd. De andere kontrolelijnen hoeven niet gebruikt te worden. Zie ook 3.2.2 invoer en uitvoer in het kort.

– Lees - de CPU leest gegevens van de databus in.
– Schrijf - de CPU zet gegevens op de databus.
– Strobe - bepaalt het moment van datatransport.

3.3.5.2 De interruptlijnen vormen een direkte verbinding van randschakeling naar CPU. Hiermee kan een randschakeling een signaal aan de processor geven waarmee de loop van het programma beïnvloed kan worden. Bij het schrijven van het (machinetaal-) programma moet de mogelijkheid van een interrupt worden ondersteund door een zogenaamde 'interrupt service routine'. Als het programma hier niet mee uitgerust is, kunnen de interruptlijnen beter niet worden aangesloten. Dan wordt voorkomen dat een basiskaart via de interruptlijnen storingen kan veroorzaken, wanneer de werkwijze per ongeluk zo is ingesteld dat interrupts kunnen wor den gegenereerd. Op de basiskaarten zijn alle interruptlijn-aansluitingen met jumpers uitgevoerd.
De werking van de interruptreaktie tussen CPU en periferie verschilt per CPU-familie nogal. Maar het gebruik van de interruptlijnen is in grote trekken gelijk.

– INT - De randschakeling zegt: Hallo attentie. Het programma bepaalt wat er gebeurt, het kan de CPU ook opdracht geven om het signaal te negeren. De CPU kan vaak samen met de periferie-IC's uit de eigen familie intelligente dingen uithalen. Daarvoor wordt een speciale lijn aktief gemaakt waarna het periferie-IC een byte op de databus zet. Dit byte is een deel van het adres van een interrupt service routine. Het andere deel van dat adres staat vaak op een speciale per CPU vaste plaats in het RAM-geheugen. Zo kan de CPU snel naar de juiste interrupt service routine springen.
Hier zijn veel variaties mogelijk. Wie ze wil gebruiken moet over voldoende dokumentatie over de gebruikte CPU beschikken. Daar staat de interruptreaktie uitgebreid in beschreven.
Signaallijn – MC1 is vooral bedoeld voor deze vorm van CPU gebonden interrupt afhandeling.
– NMI - Niet door het programma te negeren onderbreking.
Over het algemeen gaat de computer na een NMI altijd op twee vaste geheugenplaatsen kijken wat het startadres is van de NMI service routine. Uiteraard moet dat startadres eerst op de betreffende geheugenplaatsen zijn neergezet, bij het opstarten (initialiseren) van het programma.

3.3.5.3 De systeemsignalen hebben diverse funkties. Het is eigenlijk de verzameling van overgebleven kontrolesignalen. Op de basiskaarten gebruiken we allen maar de resetlijn. De overige drie lijnen worden vrijwel altijd CPU-gericht gebruikt. Ze zijn alleen aanwezig om de mikrobus optimaal toepasbaar te maken, ook in een niet universele opzet. Behalve bij – Reset, worden dan ook opzettelijk geen polariteitsaanpassingen gedaan. De signalen worden gebufferd en dan aan de periferie die er gebruik van maakt doorgegeven.

– Reset - Het programma wordt abrupt onderbroken, de computer start opnieuw met een leeg geheugen. Dit is voor de kaarten met programmeerbare IC's (periferie) een ingangssignaal. Als de systeem-resetlijn laag wordt, worden van de programmeerbare IC's ook alle registers in een bepaalde stand gezet.

Klok - Een kloksignaal maakt ruis en dus storing op een bus. Daarom kan de klok beter *niet* aangesloten worden, voor sommige toepassingen is het echter nodig of handig. Een van de kenmerken van de IC's op de standaardkaarten is dat ze onafhankelijk van de busklok werken. Als dat niet zo is, kunnen ze niet meer eenvoudig met meerdere families processoren worden gebruikt.
De klok heet positief aktief omdat we hem niet aanpassen op de busbuffer. Hij wordt gewoon gebufferd vanaf de computerbus doorgegeven.

– Wacht - Is bedoeld om de CPU even stop te kunnen zetten. Op die manier kan langzame periferie met een snelle CPU gebruikt worden. De periferie en de CPU moeten dan echter wel goed bij elkaar passen (bij voorkeur van dezelfde familie). Dit signaal is dan ook niet geschikt voor universeel gebruik. Gelukkig zijn de moderne periferie-IC's zo snel dat we dit signaal vrijwel nooit nodig hebben.

– MC1 - MachineCyclus 1, de CPU haalt een instruktie op.

Deze lijn is voornamelijk bedoeld voor interruptafhandeling bij gebruik van een CPU en periferie-IC's van dezelfde familie. Bijvoorbeeld bij de Z80 kunnen M1 en Strobe ervoor zorgen dat de periferie de zogenaamde interruptvektor op de databus plaatst.

3.4 Aansluiten van de diverse CPU's.

We bespreken de *algemene* aansluiting van de CPU-families. Aan de hand van de nu volgende gegevens is het mogelijk om vrijwel elke computer, die een van de genoemde CPU's heeft aan te sluiten.

3.4.1 De datalijnen

De datalijnen worden bij elke CPU via een bi-direktionele busbuffer met de datalijnen van de computer verbonden. De databuffer wordt op de busbuffer geopend als er een adres binnen het systeem gekozen wordt. De richting van het datatransport wordt door Lees en Schrijf bepaald.

3.4.2 De adreslijnen

De adressering kent, zoals al eerder uitgelegd is, twee verschillende mogelijkheden; Memory mapped en I/O mapped invoer/uitvoer. Dat verschil is voor de hardware overigens in de praktijk niet zo groot.
Om een busbuffer voor een bepaalde computer te maken, moet uitgezocht worden hoe de adressering van die computer in elkaar zit. Om de plaats voor een I/O-schakeling te bepalen moeten we de kaart van het geheugen (memory map) van de computer kennen. Dat moet te vinden zijn in de dokumentatie van de computer.

3.4.3 De kontrolelijnen

De kontrolelijnen zien er bij de diverse CPU's nogal verschillend uit. De signalen –Strobe, –Kaartkeuze en –Lees en –Schrijf maken we zo, dat ze vanaf de diverse CPU's, op de mikrobus grotendeels gelijk funktioneren en altijd allemaal aanwezig zijn. Zoals al eerder vermeld, is dat de basis van de universele toepasbaarheid van het Mikrosysteem.
Grote verschillen tussen de CPU-families vertoont ook de afhandeling van interrupts. Die kunnen we niet universeel maken. Daar komt bij dat, dat niet alleen per CPU, maar vaak ook nog eens per computer verschillend uitgewerkt is. De –NMI funktioneert daarbij nog het meest overeenkomstig bij de diverse CPU-families.
In onderstaande tabel is te zien hoe de mikrobus kontrolesignalen bij de verschillende processoren aangesloten worden. De richting (dir: i=in en u=uit) is vanaf de CPU gezien.
We hebben hierbij Nederlandse namen genomen voor read (lees), write (schrijf), klok (clock) en wait (wacht). Dat dit eigenlijk een wat moeilijk streven is blijkt al uit het feit dat voor strobe geen goed Nederlands woord werd gevonden.

srt	dir	mikrobus	8085	Z80	6800	6502	68008
I/O	u	–Lees	–Rd	–Rd	–(Rd/–Wr)	–(Rd/–Wr)	–(Rd/–Wr)
I/O	u	–Schrijf	–Wr	-Wr/Rd	–Wr/Rd	–Wr/Rd	
I/O	u	–Strobe	+Ale/IO-M	–Iorq	–Clock 2	–Clock 2	–Enable
Int	i	–INT	+Intr	–Int	–Irq	–Irq	–IPL0
Int	i	–NMI	+Trap	–Nmi	–Nmi	–Nmi	–IPL1
sys	i/u	–Reset	+Reset	–Reset	–Reset	–Reset	–Reset
sys	u	Klok	+Clk	+Clock	+Cll	+Cll	
sys	i	Wacht	(-)Ready	–Wait	–Halt	–Rdy	–Halt
sys	u	MC1	–Inta	–M1	–BA	–Sync	–FC0/1/2
alleen op de busbuffer gebruikt:							
adr	u				–VMA		–AS
I/O	u						–DS
I/O	i				–DBE		–VPA

3.5 Aanvullende informatie

De tabel uit de vorige paragraaf, de nu volgende informatie en de gegevens over de gebruikte computer, met name ten aanzien van vrije adresruimte en speciale kontrolesignaalbehoeften, moet in principe voldoende zijn om elke computer met één van de bekende

CPU's op de mikrobus aan te kunnen sluiten. We zullen bij de beschrijving van de busbuffers overigens zien dat de noodzakelijke aanpassingen mede afhankelijk zijn van het model computer.

3.5.1 Intel 8080/8085

De 8080 die Intel in 1973 introduceerde vormde samen met de 8224 timer- en 8228 buskontrole-IC's, de eerste volwaardige 8-bits CPU. De 8085 kombineert deze drie IC's in één ic. Tot de introduktie van de Motorola 6800 kort daarna, was Intel de enige CPU fabrikant ter wereld. In opdracht van een Japans bedrijf hadden ze in 1971 de 4004 4-bits CPU voor een rekenmachine ontwikkeld. Dit produkt werd niet afgenomen en Intel kon er mee doen wat ze wilde. Daar werd in 1972 de 8008 uit geboren en in 1973 de 8080. Een Frans bedrijf was de eerste die de 8008 CPU in een ontwerp dat we nu computer noemen toepaste. Francois Gernelle was de hoofdontwerper van Realisations Etudes Electroniques waar men in vijf maanden tijd een computer met binaire invoer en een busstruktuur maakte. Op 15 januari 1973 werd de eerste Micral, zoals de computer heette, afgeleverd. In 1975 volgde een computer rondom de 8080 met een videodisplay en Basic als taal. Kort daarna ging het bedrijf failliet door gebrek aan omzet en kapitaal, het is nu een onderdeel van BULL. De eerste mikrocomputer die bredere bekendheid heeft gekregen komt van South West Technical Products, die de S100-bus en Microsoft Basic introduceerden. Deze in 1975 geïntroduceerde computer gebruikte ook de 8080. Dat is nog te zien aan enige signalen op de S100-bus. De 8080 wordt nu evenàls de 8085, vrijwel niet meer in nieuwe ontwerpen toegepast, we zullen er verder niet op in gaan. De portable Kyocera computer die door NEC als PC8201 en door Tandy als model 102 wordt verkocht heeft een cmos 8085. Wie het Mikrosysteem met de 8080/8085(A) wil gebruiken, moet de Z80 informatie en de datasheets van de 8080 nalezen.

3.5.2 Intel 8088

Uit de 8080/8085 is de, door de toepassing in de IBM-PC serie, bekende reeks processoren 8088 / 8086 / 80186 / 80286 / 80386 ontstaan. Intel noemt deze serie ook iAPX88/10, etc. De 8088 is een 16-bits processor met een 8-bits externe databus. Deze CPU wordt vaak met een 8288 buskontroller toegepast. De IBM-PC-bus is verreweg de bekendste standaard voor toepassingen met de 8088. Er is een mikrobus busbuffer voor de IBM-PC-bus ontworpen, zodat ook in een aansluiting op deze computers is voorzien. Voor veel professioneel computer gebruik is de IBM-PC/XT/AT of PS/2-serie op dit moment de meest rationele keus. Misschien lijkt een 8-bits huiscomputer voor meet- en regeltoepassingen prijstechnisch geschikter. Maar een MSX met diskdrive etc. kost op dit moment al bijna net zoveel als een minimale MS-DOS (PC-compatible) -konfiguratie. De AT-bus is een uitgebreide IBM-PC-bus, zodat het Mikrosysteem daar zonder problemen op kan worden aangesloten. In de voornamelijk rond de 80386 opgebouwde Personal System/2 serie van IBM wordt de 'microchannel'-bus toegepast. Dat is een goed doordacht buskoncept, speciaal wat betreft DMA- en Interruptstruktuur. Een groot aantal personal computer fabrikanten heeft samen de EISA-bus standaard opgesteld als antwoord op de door IBM gepatenteerde microchannel-bus. De EISA-bus is een vervolg op de PC- en AT-bus. Daardoor zijn oude PC- en AT-kaarten bruikbaar, een kommercieel niet onbelangrijke eigenschap van de EISA-bus.
We gaan ervan uit dat de 8088 samen met een 8288 in de zogenaamde maximum mode wordt gebruikt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de IBM-PC-bus. Er is geen aparte strobe beschikbaar. Die leiden we met een poort af van de –Rd en –Wr signalen. De Reset moet ook geïnverteerd worden. De PC beschikt ook nog over een speciale 8259 interruptkontroller. Daardoor kunnen we uit meerdere interruptniveaus kiezen. We kunnen dat ook zien als een eigenschap van een 8088-bus. Zie verder de bespreking van de IBM-PC-busbuffer, hoofdstuk 4.4.

3.5.3 8052 en andere 80XX microcontrollers

Deze IC's vormen naast de verbreding van de interne databus naar 16- en 32-bits, de andere tak van vooruitgang in processorland. In één IC worden nu CPU, geheugen en I/O geplaatst. Door de I/O aan boord zijn ze uitstekend geschikt voor de meet- en regeltechniek. De gebruiker kan met een dergelijk systeem kommuniceren via het seriële kanaal van zijn

computer. De 8052AH is in een uitgebreide Basic programmeerbaar. En er zijn compilers die bijvoorbeeld op de IBM-PC draaien en dan software voor de 803X- en 805X-serie opleveren.
Deze serie is op te delen in groepen naar de funkties die in het IC zitten:

- CPU en I/O.
- CPU, I/O en EPROM.
- CPU, I/O en ROM.
- CPU, I/O en *taal* in ROM (Basic).

Deze IC's zijn heel geschikt voor stand-alone 24-uurs toepassingen in besturingssystemen, ze werken goed met de mikrobus. Het aansluiten van deze CPU's komt vrijwel overeen met de rest van 8XXX-stam. Zie de bespreking van de 8052-busbuffer, hoofdstuk 4.2.

3.5.4 Zilog Z80
De Z80-CPU is in 1976 door Zilog, een bedrijf van ex-Intel medewerkers, geïntroduceerd. Het is een opvolger van de Intel 8080. De Z80 werkt met I/O-mapped invoer en uitvoer. Daardoor is het schrijven van machinetaal I/O-programma's ten opzichte van de 6XXX-stam relatief eenvoudig. De Z80 was de eerste processor met een wijd verbreid en professioneel operating system (CP/M). Pas in 1984 werd de leiding van CP/M door PC-DOS/MS-DOS overgenomen. (Het eerste jaar dat er meer MS-DOS dan CP/M software titels verkrijgbaar waren) Naast de CP/M-computers gebruiken de Sinclair ZX-serie, MSX, Amstrad CPC en andere suksesvolle (huis)computers de Z80.

Vanuit de adressignalen en de I/O-request en MachineCycle 1-signalen worden de Kaartkeuze- en Registerkeuzesignalen gemaakt. I/O-request geeft aan dat het om een I/O-aktie gaat. Van de adressignalen zijn alleen de onderste 8 direkt via machinetaal-instrukties aanspreekbaar. Door het hoogste byte voor de I/O-aktie in het BC-register te laden, krijgen we toch kontrole over de volle 65.536 adressen in plaats van 256.
–Lees en –Schrijf worden via een buffer op –Rd en –Wr van de CPU aangesloten. –Rd en –Wr zorgen voor de richting. IORQ zorgt naast het aangeven van de adressering ook voor de timing (strobe) van de I/O-akties. Het datatransport op de Z80-bus gebeurt bij de stijgende flank van het –IORQ en –Rd/–Wr signaal. IORQ levert ook het Strobesignaal op de mikrobus.

Bij gebruik van Z80 periferie-IC's met de Z80-CPU en de mikrobus, kan –Strobe samen met M1 gebruikt worden om een randschakeling een interruptvektor op de bus te laten zetten.

De Z80 beschikt o.a. ook over alle instrukties die de 8080/8085 kent. Oorspronkelijk is CP/M voor de 8080 geschreven. Later is er ook CP/M-software verschenen die de uitgebreider instrukties van de Z80 nodig heeft.

3.5.5 Motorola MC6800 (680X - 680XX)
De MC6800 werd in 1974 door Motorola geïntroduceerd. Daarmee was Motorola na Intel de tweede CPU-fabrikant ter wereld. Het was de eerste CPU die met slechts één voedingsspanning (+5 V) werkt. De 6800 heeft een eenvoudige busstruktuur en is daardoor goed te begrijpen en toe te passen. Het is een uitgebreide familie van CPU's en periferie-IC's. De 6800-familie is goedkoop en goed verkrijgbaar, daarom is het veel in industriële en kontrole-elektronica gebruikt. Met name de periferie-IC-serie wordt ook veel met andere CPU's gebruikt. Er bestaan merkwaardig weinig huiscomputers met een 68XX.
We gaan ervan uit dat in de computer DBE met Clock 2 is verbonden, als dat niet het geval is moet dat op de busbuffer gebeuren. De adressignalen zorgen samen met -VMA (valid memory address) voor de kaart- en registerkeuze.
Rd/–Wr wordt met een inverter gesplitst in –Lees en –Schrijf.
Clock 2 zorgt voor de timing (strobe). Het wordt geïnverteerd om dezelfde polariteit te krijgen als de –Strobe op de mikrobus.

3.5.5.1 De MC6802, MC6808 en MC6809.
Deze werken ten opzichte van de bus als de 6800. Ze hebben als extra een Slow Memory (-SM) ingang die gebruikt kan worden met langzame I/O. Wij sluiten die aan op –WACHT, maar gebruiken dat zelden of niet.
De 6809 is de meest geavanceerde 8-bit CPU op dit moment. Tenminste als we de 68008 en NS32008 niet als 8-bitters zien. De 6809 is een 8-bits CPU met 16-bits registers. Er is een

MMU (memory management unit) verkrijgbaar die gebruik met 2 megabyte RAM mogelijk maakt. Het OS/9 operating systeem maakt multitasking gebruik mogelijk. De 6809 zit o.a. in de Tandy Color Computer waar OS/9 en een multitasking Basic voor te krijgen zijn. Het Flex operating systeem is ook geïmplementeerd op de 6809.

3.5.5.2 MC680XX (68000 serie)
De eerste CPU's van de 68000-familie werden rond 1980 door Motorola geïntroduceerd, er komen nog steeds nieuwe bij van ook onder andere Philips. Deze 16/32-bits familie CPU's zit in een aantal voor amateurs interessante computers. Bijvoorbeeld de Atari ST-serie, Commodore Amiga, Sinclair QL, etc. Maar ook professionele systemen als de Apple Macintosh II en veel VME-systemen gebruiken de 680XX. De 68000-familie wordt veel met Unix maar ook met CP/M68, OS/9, etc. gebruikt. De bekende 68000-huiscomputers gebruiken jammer genoeg allemaal een eigen operating systeem (TOS, AMIGA-DOS, QDOS, etc.). Opmerkelijk genoeg voorzien een aantal computers rondom een 68XXX niet in volledige bus aansluitingen. De Apple Macintosh II met de NuBus® is daar een gunstige uitzondering op. Deze bus is gepatenteerd door Texas Instruments. Deze 32-bits bus kan niet goed met een systeem als het Mikrosysteem gebruikt worden. Mocht er behoefte zijn aan 8-bits meet- en regeltechniek met een Macintosh, dan kan beter een aparte microcontroller gebruikt worden. De Mac kan dan als konsole dienen en voor de verwerking van de data zorgen.

De 68000-bus kent twee principieel verschillende manieren van werken: synchroon en asynchroon. Normaal werkt de 68000 in asynchrone mode. Dat wil zeggen dat de diverse schakelingen op de bus niet dezelfde snelheid of reaktietijd hoeven te hebben. De CPU wacht namelijk tot er een teken van de aangesproken schakeling komt voor hij verder gaat. Omdat de CPU op die manier vast zou kunnen komen te zitten zijn er speciale voorzieningen om dat op te lossen. Op die manier kan de snelle 68000 CPU gebruik maken van schakelingen die niet hoeven te voldoen aan de timingseisen die een snelle synchrone bus zou stellen. De *synchrone* mode is van belang voor ons. Die is speciaal ingevoerd om de synchrone en trage periferie-IC's van de 6800-serie te kunnen gebruiken. De CPU moet een signaal van het aangesproken adres terug krijgen om te weten dat hij in synchrone mode moet werken. Er zijn speciale kontrolelijnen voor synchrone I/O-akties beschikbaar. Er wordt een timingsignaal (Enable) opgewekt met een klokfrekwentie die 1/10 is van de snelle CPU klok. Dat signaal is 6 klokcylussen hoog en 4 laag. De CPU werkt in synchrone mode volgens deze timing. Per type CPU uit de 68000-familie werkt dit hardwarematig iets anders. De afhandeling van de interrupts is bij de 68000-serie uitgebreid en flexibel. Via de interruptingangen kunnen verschillende interruptniveaus worden gegeven. Met de 6800 periferieserie en een 68000-CPU kunnen we een zeer flexibele interruptafhandeling in het programma maken.

- MC68000.

Het adres op de bus is geldig als het AS-signaal laag is. Als er een synchroon 8-bits periferie-IC gekozen is moet de randschakeling de VPA-ingang van de CPU laag maken. Daarna geeft de CPU via VMA aan dat een geldig I/O-adres is gekozen. VMA gebruiken we samen met de gewenste adreslijnen voor de aansturing van de mikrobus. Enable is een speciaal signaal om te gebruiken als –Strobe bij synchrone periferie schakelingen.
(AS = address strobe, VPA = valid peripheral address, VMA = valid memory address, E = Enable).

- MC68008.

De 68008 wordt geleverd in 48-pens DIL en 52-pens QUAD verpakking. Beide hebben ze een 8-bits databus, 18 stuks 32-bits registers en een 16-bits register. De 48-pens versie beschikt over 20 adreslijnen, de 52-pens versie over 22 adreslijnen. De Sinclair QL gebruikt de 68008, daardoor is er relatief veel software voor deze CPU beschikbaar. Voor de 68008 zijn een aantal multitasking operating systemen beschikbaar, onder andere Q/DOS, K/OS en OS/9. De 68008 beschikt over extra signalen op de CPU voor gebruik met asynchrone periferie-IC's. De –VPA-ingang maakt de CPU duidelijk dat er een adres is gekozen van een synchroon 8-bits periferie IC. –VPA moet door de busbuffer geaktiveerd worden, de CPU past zijn akties dan

aan. We kunnen de –Enable-uitgang voor –Strobe gebruiken. De –Enable-uitgang werkt op een tiende van de klokfrekwentie, waarvan 6 klokcyclussen laag en 4 hoog. Als –VPA aktief is neemt de CPU aan dat de IC's op de bus –E als timing gebruiken. De CPU zet een adres op de databus en maakt –AS (address strobe = geldig adres) aktief. –DS (data strobe) wordt aktief (laag) als er een datatransport op de bus plaats vindt. Rd/–Wr geeft de richting van het datatransport aan. Als blijkt dat het een adres van een 8-bits periferie-IC is, moet de uitbreiding schakeling de lijn –VPA aktief (laag) maken. De CPU weet nu dat er een asynchrone schakeling is aangesloten en wacht dus niet op –DTAck (data transfer acknowledge, de asynchrone handshake), maar leest de data in of uit op de achterflank van –Enable. De CPU gaat na 10 klokcyclussen gewoon verder en neemt aan dat de periferie voldoende tijd voor zijn aktie heeft gehad.

De 48-pens 68008 heeft twee interruptingangen, IPL0/2 en IPL1. De 52 pens heeft drie interruptingangen IPL0, IPL1 en IPL2. Met IPL0/2 en IPL1 kunnen 4 interruptniveaus worden gegeven. Met de –BR (busrequest) en –BG (bus grand) signalen kan een perifierieschakeling de buskontrole voor DMA overnemen. Dit gebruiken we voor de mikrobus niet. De –HALT pin wordt gebruikt om de CPU even te stoppen, niet te lang anders is het RAM-geheugen leeg. –RESET is bidirektioneel, daarmee kan het programma ook een reset aan de periferieschakelingen geven. –HALT en –RESET samen geven een volledige CPU-reset zoals na power-up. De pennen FC 0, 1 en 2 geven aan welk soort operatie de CPU op dat moment uitvoert. –BERR (bus error) -ingang is bedoeld voor foutherstelling en wordt door ons evenals FC 0, 1 en 2 niet gebruikt.

3.5.6 Mostek 6502.

In 1975 bracht Mostek als eerste een 'afstammeling'-processor, de 6502-CPU op de markt. Een groep werknemers verliet Motorola en begon Mostek, met de opgedane kennis werd de 6502 gemaakt. Zo kon Mostek de 6502 voor een hele lage prijs op de markt brengen. Dit heeft veel bijgedragen aan de hobby-computer revolutie. Onder andere het ontstaan van de Apple, die in 1977 als eerste echte single-board huiscomputer geïntroduceerd werd, is daardoor mogelijk gemaakt. De 6502 van Mostek werd in veel van de eerste serie hobbycomputers van voor 1980 toegepast, o.a. Apple, AIM-65, Kim, Ohio Scientific, etc. Het eigen Mostek-produkt, de SYM was ook eens een bekende computer. Ook de later suksesvolle, Commodore 64 en BBC gebruiken een CPU van de 650X-familie.

Het opmerkelijke van de 6502 is dat er eigenlijk sprake is van een RISC-computer ten opzichte van bijvoorbeeld de Z80. Een Reduced Instruction Set Computer kent maar weinig opdrachten, die opdrachten worden echter allemaal wel heel snel uitgevoerd. Een echte RISC-computer kan met het juiste programma razendsnel werken.

Er is geen algemeen toegepast operating system voor de 6502 in gebruik. Alleen Flex is voor deze CPU geïmplementeerd. De bekendste gebruiksstandaarden zijn die van de Apple II en CBM-64.

De 6502 is lid van de grote familie van allemaal vrijwel identiek funktionerende 65XX-CPU's.

De adreslijnen zorgen voor de –Kaartkeuze en Registerkeuze.

Rd/–Wr wordt met een inverter gesplitst in –Lees en –Schrijf. Clock 2 zorgt voor de timing (strobe). Cl 2 moet geïnverteerd worden om het –Strobesignaal van de mikrobus te geven.

4. De Busbuffers

Het Mikrosysteem pretendeert zodanig universeel van opzet te zijn, dat de I/O-mogelijkheden van (vrijwel) elke microcomputer uitgebreid kunnen worden. De hardware-basis voor deze bewering vormt de busbuffer, die de signalen van de computerbus omzet in mikrobussignalen en omgekeerd. Deze busbuffer moet op de toegepaste computer worden aangepast. Daarom worden in dit hoofdstuk meerdere busbuffers beschreven, die weliswaar steeds dezelfde funktie vervullen, maar in hun opbouw zijn aangepast op de eigenaardigheden van de betrokken microcomputerbus.
Naast een busbuffer voor een aantal populaire 'huiscomputers' en voor de IBM-PC en zijn klonen, is er een 'universele' busbuffer voor 8-bits microcomputers ontworpen.
Een busbuffer zorgt voor adresdekodering, buffering en aanpassing van de kontrolesignalen. Busbuffers voor een specifieke computer kunnen vaak met minder IC's worden gemaakt. Daarbij kan de universele buffer model staan voor zo'n buffer. Bij de bespreking van de vier specifieke busbuffers wordt dan ook uitgegaan van het volgende verhaal over de universele buffer.
De eerste drie specifieke busbuffers laten allemaal een vereenvoudiging van de basisadressering en van de kontrolesignaal behandeling zien. De generatie van de –Kaartkeuzesignalen, de buffering van Registerkeuzesignalen en de Databusbuffering worden bij allemaal op dezelfde manier aangepakt. De Atari ST- buffer is een speciaal geval.

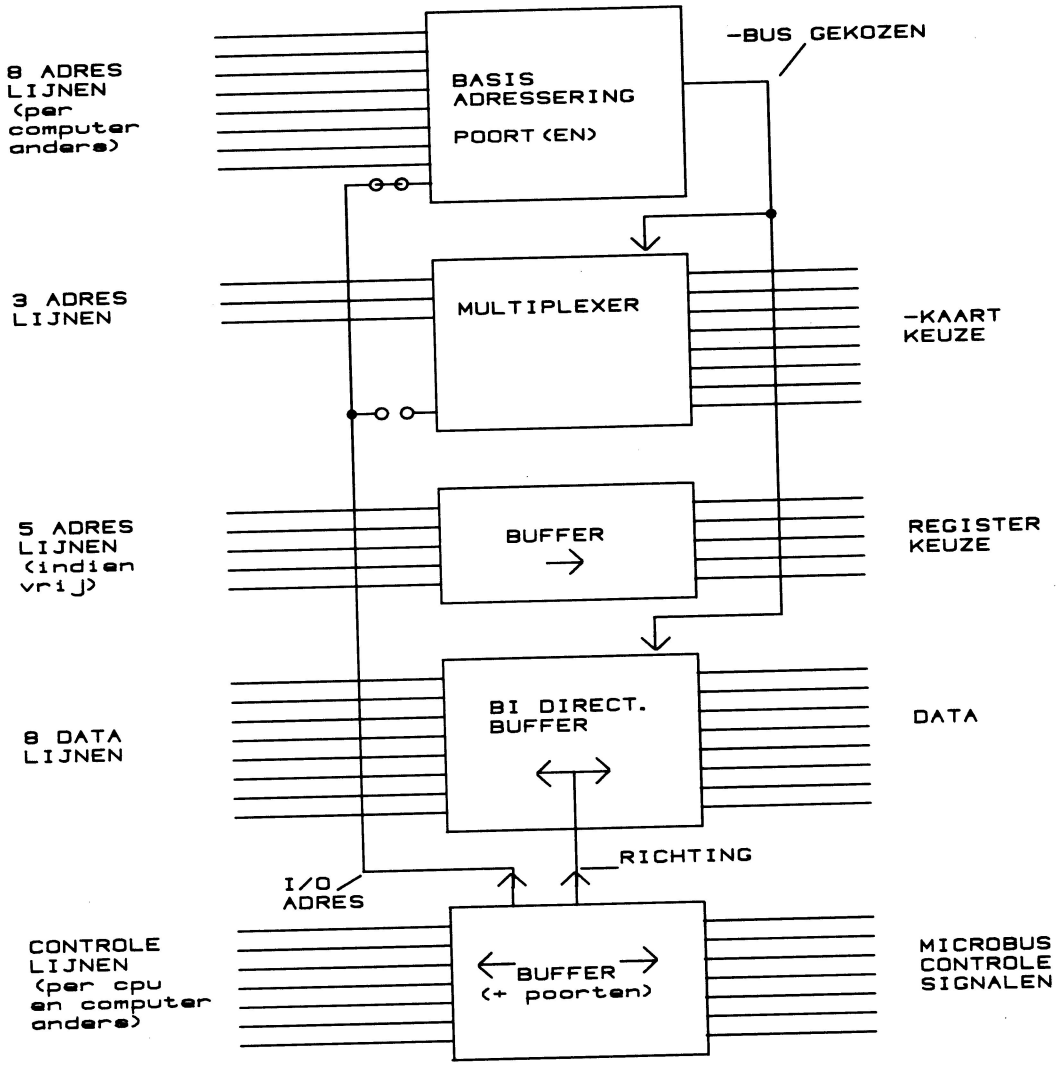
Voor de volgende vier computers zijn aparte busbuffers ontworpen, de 8052, MSX, IBM-PC/AT en Atari ST.
De 8052-busbuffer is opgenomen omdat microcontrollers belangrijk zijn voor meet- en regeltoepassingen. Daar komt bij dat er in de vorm van de Elektuur 8052AH-print en het bijbehorende boek, een goed en goed gedokumenteerd ontwerp met de 8052AH beschikbaar is. De bijzondere voordelen voor met name geïsoleerd werken komen bij de bespreking van de 8052-busbuffer aan de orde.
Voor de MSX-computers is een busbuffer ontworpen omdat de MSX-computers voor meet- en regeltoepassingen de meest geschikte 8-bits huiscomputers zijn. Bij MSX is een volledige bus aanwezig en het gebruik is goed gedefinieerd. Een ander voordeel is de overeenkomst tussen de MSX en MS-DOS, zowel op het niveau van Basic- als DOS-kommando's. Daardoor is niet alleen de hardware van het Mikrosysteem, maar ook de Basic-programmatuur van MSX naar een IBM-PC/XT/AT transportabel. Een ander voordeel is, dat het eenvoudig is, om een Basic-programma in eprom te zetten. De ondersteuning door meerdere fabrikanten is ook belangrijk. Sommige MSX-computers vragen een signaal van de randapparatuur terug. De universele busbuffer verzorgt dat niet en het MSX-ontwerp wel.
Voor de IBM-PC, XT en AT is om meerdere redenen een aparte busbuffer ontworpen. De eerste is dat de daarin gebruikte processor niet met de universele busbuffer kan werken. Voor effektieve toepassing met een PC moet de kaart ook goed in een slot passen. Dus is een speciale print noodzakelijk. De PC wordt zoveel gebruikt, dat een speciaal busbufferontwerp op zijn plaats is.
Voor de Atari ST is een speciale busbuffer ontworpen omdat de ST een afwijkende aanpak vraagt. Dit is eigenlijk geen echte busbuffer. De minimale signalen voor het werken met interface-IC's worden samengesteld uit de signalen van een poort. De gebruikte techniek is op zich een aardig onderwerp.

4.1 Universele busbuffer

De universele busbuffer is geschikt voor gebruik met computers met een Z80, 6502 of 6800 CPU. Dit omvat alle bekende 8-bits huiscomputers zoals onder andere Commodore 64, Sinclair Spectrum, Acorn BBC en Electron. Er kan ook gewerkt worden met de 68008-CPU van de Sinclair QL, maar dat is niet verder uitgewerkt. Aan de hand van het schema van de universele buffer is ook eenvoudig een schakeling te bouwen voor niet behandelde computers. Bij de bespreking van de Commodore 64, Sinclair Spectrum en BBC-B is een schema afgedrukt om de bouw

van een specifieke busbuffer voor zo'n computer te vereenvoudigen. Om de 808X ook via de universele buffer aansluitbaar te maken werd onpraktisch. Er zouden dan teveel jumpers en poorten voor de kontrolesignalen moeten worden gebruikt. Voor de 8052-microcontroller en de IBM-PC/XT/AT zijn daarom aparte schema's opgenomen.

In het voorgaande zijn de signalen op de mikrobus uitvoerig besproken. Ook zijn de speciale eigenschappen van de diverse CPU's besproken. We gaan de universele busbuffer eens nader bekijken om te zien wat er daadwerkelijk voor nodig is om de gewenste mikrobussignalen uit de diverse CPU-signalen te destilleren. We zien dan dat het schema



Figuur 4-X1. Principe opbouw universele busbuffer

(4-X1) de indeling van de signalen op de bus volgt. Er is een blok voor de adressering, één voor de data en één voor de kontrolelijnen.

- De adressering kunnen we onderverdelen in de basisadressering van het Mikrosysteem (IC1 en IC5), de produktie van de –Kaartkeuzesignalen (IC2) en het bufferen van de Registerkeuzesignalen (IC3).
- De datalijnen worden met een busbuffer-IC gebufferd voor invoer en voor uitvoer (IC4).
- De kontrolesignalen worden door het samenstel van poorten en jumpers onderin verzorgd (IC6, IC7 en IC8).

Het basisadresseringsgedeelte rondom IC1, HCT688, en de dilschakelaar, kan vaak sterk vereenvoudigd worden als de buffer maar voor één type computer gebruikt wordt. Voor de CBM64, Sinclair Spectrum en BBC-B zijn basisadresseringsschema's opgenomen. Deze schakelingen leveren een –Bus-gekozen signaal op. Dit kan op de plaats van het –Bus-gekozen aansluitpunt in het schema van de universele buffer (4-1) worden aangesloten en het basisadresblok vervangen. De HCT688, de dilschakelaar, R1..8 en de OF-poort IC5, vervallen dan. Ook IC6A, R11 en jumper 1 kunnen dan vervallen.
Voor de kontrolesignalen kan ook een eenvoudiger oplossing worden gebruikt als maar één type computer hoeft te worden aangesloten. Dit is echter niet verder uitgewerkt. Hoe dat moet ligt voor de hand door de jumpertabel te volgen.
Bij de eerste drie specifieke busbuffers verderop is te zien wat de gevolgen voor de schakeling zijn als er geen universele maar specifieke busbuffer wordt gemaakt. Daarbij is ook duidelijk te zien dat de Databusbuffering, de Registerkeuzebuffering en de –Kaartkeuzeverzorging steeds op dezelfde manier gebeuren. De STbuffer vormt helemaal een uitzondering omdat het geen echte busbuffer is.

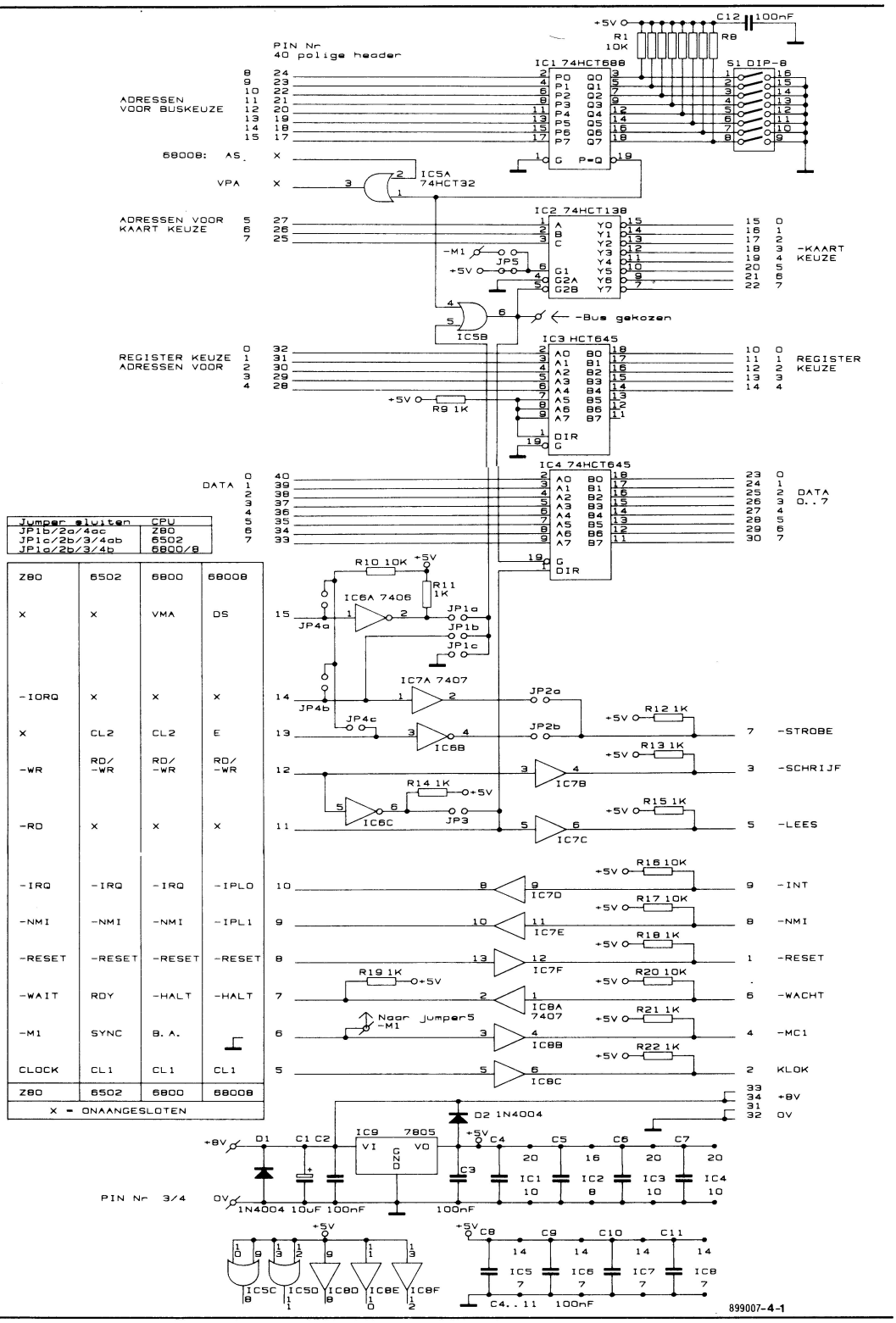
Op de busbuffers zouden goed PLD's, programmeerbare logische komponenten, gebruikt kunnen worden. Deze kunnen op efficiënte wijze voor de basisadressering en –Kaartkeuzesignalen zorgen. De signaalvertraging in de buffer kan dan ook korter zijn als bij de huidige opzet van de busbuffers. Eventueel zouden een groot deel van de jumpers op de universele busbuffer ook nog vervangen kunnen worden door een PLD voor iedere processorfamilie. Er zijn echter geen PLD's gebruikt, omdat niet iedereen deze IC's kan programmeren. Daardoor kan de PLD nog niet als standaardonderdeel worden gezien, hetgeen in stijd is met de filosofie achter het Mikrosysteem. In principe is een PLD natuurlijk juist een standaardonderdeel bij uitstek. Maar dan moet wel een programmeer mogelijkheid aanwezig zijn. Om interfaces met de 32 bits bussen als de NuBus en Mikrochannel te bouwen moeten haast wel PLD's gebruikt worden. Aan de hand van de schema's van de busbuffers, is het natuurlijk eenvoudig om zelf een busbuffer met een PLD te bouwen. Voor de adressering volstaat een eenvoudig type PLD, waar alleen maar poorten en geen flip-flops in voor komen.

4.1.1 De adressering

Hierbij worden de basisadressering, de verzorging van de –Kaartkeuzesignalen en de Registerkeuzebuffering onderscheiden.

4.1.1.1 Basisadres

Om het Mikrosysteem op diverse computers, die elk ook nog eens weer met verschillende randapparaten zijn uitgerust, aan te kunnen sluiten moeten we het basisadresgebied kunnen instellen. Het basisadresgebied bestaat uit het totaal aan adreslijnen dat een geldig adres binnen het Mikrosysteem oplevert. Op zijn grootst bestaat dat uit 256 lokaties. Het hoeft geen aaneengesloten stuk adresgebied te zijn. Maar de adressering kan toch het best zo worden ingedeeld dat het Mikrosysteem een aaneengesloten stuk geheugen van 256 adresplaatsen toegewezen krijgt. Daarvoor moeten de adreslijnen 0 tot en met 7 vrij beschikbaar zijn.
Om een basisadresgebied te bepalen moeten we in de eerste plaats weten welke adressen al gebruikt worden in de aan te sluiten computer. Daarna kunnen we het Mikrosysteem zo gunstig mogelijk tussen de andere randapparatuur plaatsen.
De acht hoge adreslijnen (A8..15) worden via een 74HCT688 8-bits vergelijker, met de instelling op een achtvoudige aan-/uitschakelaar vergeleken. Als de niveaus op de P0..7- en Q0..7-ingangen overeenkomen wordt de P=Q-uitgang, pin 19, laag. De Q0..7-ingangen worden met pull-up weerstanden


PIN Nr
40 polige header
ADRESSEN VOOR BUSKEUZE
68008: AS
VPA
IC1 74HCT688
S1 DIP-8
C12 100nF
R1 10K
R8
IC5A 74HCT32
ADRESSEN VOOR KAART KEUZE
IC2 74HCT138
-M1
JP5
-KAART KEUZE
IC5B
-Bus gekozen
REGISTER KEUZE ADRESSEN VOOR
IC3 HCT645
R9 1K
REGISTER KEUZE
DATA
IC4 74HCT645
DATA D..7
Jumper sluiten CPU
JP1b/2a/4ac Z80
JP1c/2b/3/4ab 6502
JP1a/2b/3/4b 6800/8
Z80 6502 6800 68008
R10 10K
R11 1K
IC6A 7406
JP1a
JP1b
JP1c
JP4a
IC7A 7407
JP2a
JP4b
JP4c
JP2b
IC6B
R12 1K
-STROBE
R13 1K
IC7B
-SCHRIJF
R14 1K
IC6C
JP3
R15 1K
IC7C
-LEES
R16 10K
IC7D
-INT
R17 10K
IC7E
-NMI
R18 1K
IC7F
-RESET
R19 1K
R20 10K
IC8A 7407
-WACHT
Naar jumper5 -M1
R21 1K
IC8B
-MC1
R22 1K
IC8C
KLOK
+8V
OV
D2 1N4004
IC9 7805
D1 1N4004
C1 10uF
C2 100nF
C3 100nF
C4 IC1 10
C5 IC2 8
C6 IC3 10
C7 IC4 10
PIN Nr 3/4
IC5C IC5D IC8D IC8E IC8F
C8 IC5 7
C9 IC6 7
C10 IC7 7
C11 IC8 7
C4..11 100nF
899007-4-1

R1..8 aan +5 V gelegd. We kunnen nu een adresbitpatroon instellen door die schakelaars te sluiten, waarvan de korresponderende adresbits laag moeten worden (dus *gesloten = laag*).
Bij sommige computers zijn de hoogste adreslijnen niet vrij beschikbaar, we moeten de P0..7 ingangen dan op andere (lagere) adreslijnen aansluiten, het Mikrosysteem kan dan vaak niet meer de maximaal 256 aparte adressen bevatten.
Het uitgangssignaal van de vergelijker IC1, wordt zo nodig via poort IC5B gekombineerd met een per CPU-type verschillend signaal voor I/O-besturing.
Het zo ontstane signaal noemen we: −Bus-gekozen.
Zoals eerder opgemerkt kan dit blok bij een busbuffer voor één type computer, door een specifieke schakeling worden vervangen. De daarvoor afgebeelde schema's leveren alle drie ook een −Bus-gekozen signaal op. Het aansluitpunt daarvoor is in het universele busbufferschema (figuur 4-1) aangegeven.

4.1.1.2 −Kaartkeuze
Als het basisadresgebied is ingesteld gaan we de −Kaartkeuzesignalen maken. Vanuit drie adreslijnen genereren we met een 74HCT138 drie-naar-acht dekoder, de −Kaartkeuzesignalen. In de meeste gevallen zullen dat de adreslijnen 'onder' de buskeuzelijnen zijn. Dus in het voorbeeld A5, A6 en A7. Die verbinden we met de ingangen A, B en C van de 74HCT138. De uitgangssignalen Y0..7 worden met de −Kaartkeuzelijnen op de mikrobus verbonden. Er kan maar één van de uitgangssignalen tegelijk laag worden, zijn nummer komt overeen met decimale waarde die op de ingangen A, B en C staat, zie tabel. De decimale waarde geldt uiteraard alleen als A, B en C inderdaad op A5, A6 en A7 zijn aangesloten.

dec	A	B	C	Uit
0	0	0	0	Y0
32	1	0	0	Y1
64	0	1	0	Y2
96	1	1	0	Y3
128	0	0	1	Y4
160	1	0	1	Y5
192	0	1	1	Y6
224	1	1	1	Y7

Figuur 4-1. Schema van de universele busbuffer

Eén van de laag aktieve poortingangen van de 74HCT138, in dit geval G2B, wordt met het −Bus-gekozen-signaal verbonden. Dit om te zorgen dat het −Kaartkeuzesignaal alleen op de mikrobus gezet wordt als de busbuffer is aangesproken. Daardoor is het −Kaartkeuzesignaal als uniek adressignaal bruikbaar. De twee overige poortingangen G1 en G2A van de 74HCT138 worden respektievelijk met +5 V en 0V verbonden. Als er bij de Z80-CPU met interrupts wordt gewerkt, moet G1 met het signaal −M1 van de CPU verbonden worden. Als het programma geen interrupts gebruikt kan G1 gewoon met +5 V zijn verbonden.

4.1.1.3 Registerkeuze
Dit is het laatste blok dat met de adressering is verbonden. Het buffert de adressignalen die op de bus 'Registerkeuze' genoemd worden. Daarvoor worden bij voorkeur de laagste adressen A0 tot en met A4 gebruikt. Per kaart zijn dan 32 aaneengesloten adressen beschikbaar. Bij ruimtegebrek in een systeem moet er een kompromis tussen het aantal −Kaartkeuze- en het aantal Registerkeuzesignalen worden gemaakt. Vrijwel alle uitbreidingskaarten maken minimaal gebruik van Registerkeuze-0 en -1. Registerkeuze-2 is soms nodig. Registerkeuze-3 en -4 kunnen vaak gemist worden. Die twee worden eigenlijk alleen gebruikt om per −Kaartkeuzesignaal, meerdere basiskaarten te kunnen aansluiten. Er zijn maar weinig programmeerbare interface IC's die 32 interne registers hebben. De Real time clock ICM7170 is zo'n geval, op die kaart is het zo opgelost dat er toch ook maar een paar Registerkeuzesignalen nodig zijn. Om te beslissen hoe de adreslijnen bij een tekort verdeeld worden, moeten de schema's van de te gebruiken kaarten worden bekeken. Over het algemeen zal met acht −Kaartkeuzesignalen gewerkt worden, de rest van de bruikbare adreslijnen wordt dan voor Registerkeuze gebruikt.
Voor het bufferen van de signalen wordt een 74HCT645 gebruikt, zie voor een bespreking van de HCT645 hierna: 4.1.1.4 Datalijnen. De doorlaatrichting is vastgelegd door de Richting-ingang (Dir, pin 1) aan +5 V te leggen. De poortingang (-Gate, pin 19) is met −Bus-gekozen verbonden. Deze poortingang zou ook met de aarde verbonden kunnen

worden. Maar dan wisselen de adreslijnen op de bus voortdurend, wat een bron van ruis is. En dat moet zoveel mogelijk voorkomen worden. Nu worden de Registerkeuzesignalen alleen op de mikrobus gezet als het basisadresgebied is aangesproken.

4.1.1.4 De datalijnen
Afhankelijk van de gewenste richting van het datatransport bij een schrijf- of leesaktie moet de data door de buffer van de CPU naar de mikrobus of omgekeerd doorgegeven kunnen worden. Dat vraagt eigenlijk heel wat vernuft. Gelukkig maakt de 74HCT645, die taak uiterst simpel. Dit is een verbeterde versie van de 74HCT245, maar funktioneert er logisch gezien gelijk aan.
De –Poortingang (-Gate, pin 19) en de Richting-ingang (Dir, pin 1) van de HCT645 moeten goed aangestuurd worden.
Als de –Poortingang hoog is zijn de beide zijden A0..7 en B0..7 van elkaar gescheiden, als die laag is zijn ze verbonden. Het IC wordt vaak zo aangesloten dat de computerbus op de A-kant (pin 2..9) en de externe bus op de B-kant (pin 11..18) wordt aangesloten. In dat geval zal de Richting-ingang hoog moeten zijn als er vanaf de CPU geschreven moet worden en laag als er gelezen wordt. Dus wordt Dir met –Lees verbonden.

4.1.1.5 De kontrolelijnen
Bij het aanpassen van de busbuffer op een bepaalde computer zal naast het uitzoeken van een goed adresgebied het aanpassen van de kontrolesignalen het meest spektakulair lijken. We zien daar een massa poorten voor een paar signalen. Wie hier van schrikt zal blij zijn dat het er bij de vier specifieke busbuffers die verderop besproken worden veel eenvoudiger uitziet.
De gebruikte IC's zijn de 7406 open-kollektor inverter-buffer/driver (IC6) en de 7407 open-kollektor buffer/driver (IC7 en IC8). Deze IC's bestaan niet in HCT of LS uitvoering, ze zijn ervoor gemaakt om veel stroom te kunnen verwerken, daarom zijn ze ook geschikt voor het sturen van deze buslijnen. Deze IC's hebben een zogenaamde open-kollektor uitgang, zie 3.2.5. De belangrijkste eigenschap van zo'n lijn is, dat er altijd een weerstand naar +5 V gelegd moet worden om een TTL-uitgangssignaal te krijgen. Doordat deze (pull-up) weerstand buiten het IC zit, wordt de warmte ook niet in het IC opgewekt. Daardoor kunnen deze uitgangen relatief zwaar belast worden.
De kontrolesignalen moeten zoals gezegd per type CPU aangepast worden aangesloten. Zie daarvoor de jumpertabel bij figuur 4-1.
De interruptuitgangen van de basiskaarten zijn open-kollektoruitgangen. Op die manier kunnen ze allemaal parallel op een lijn worden aangesloten, terwijl er meerdere tegelijk aktief mogen zijn. Op de busbuffer moeten de interruptingangen –INT en –NMI dus met een pull-up weerstand afgesloten worden. Op die manier ontstaat een zogenaamde OF-poort met draden (wired-OR), als de open-kollektoruitgang van één *of* meerdere basiskaarten laag is, wordt de lijn laag. De interruptuitgangen van de busbuffer naar de computer zijn ook weer open-kollektoruitgangen. Voor de –Wachtlijn geldt hetzelfde. De andere kontrolesignalen worden allemaal ook via buffers aangesloten. De uitgangen worden allemaal via een pull-up weerstand met +5 V verbonden. De grootte van die weerstanden bepaalt hoeveel vermogen er door de buffer gebruikt wordt en hoeveel stroom er gebruikt kan worden door de aangesloten basiskaarten. De gekozen waarde van 1k laat een maximale stroom van 3 mA toe voordat het lijn niveau beneden +2 V komt. Dat is voldoende voor 150 LS-TTL standaard ingangen. Het lage niveau moet bij LS-TTL twintig keer zoveel stroom per aangesloten poort verwerken, daarbij is een kleinere pull-up weerstand alleen maar extra belasting. De 7406 en 7407 kunnen 20 mA naar aarde verwerken, waarop 50 LS-TTL standaardingangen kunnen worden aangesloten. Er zullen wel nooit zoveel basiskaarten aangesloten worden dat deze grens bereikt wordt.

4.1.1.6 Samenvattend kan gezegd worden:
Met de jumpers 1 t/m 5 wordt de busbuffer op de CPU van de gebruikte computer aangepast.
Met schakelaar S1 wordt de mikrobus binnen het adresgebied van de gebruikte computer geplaatst. Daarvoor moet de dokumentatie van de computer gebruikt worden. Voor de hierna beschreven computers is dat al uitgezocht.

4.1.1.7 Busaansluiting
De busbuffer wordt via een 40-polige hea-

derstrip op de computerbus aangesloten. Zo kan enige orde worden gebracht in het aansluiten van de diverse computers. Bij de volgende besprekingen van de specifieke computeraansluitingen wordt steeds een aansluiting van de computerbus op deze 40-pens konnektor aangegeven.

Penaansluiting busbuffer 40-polige header. Normale nummering: de markering geeft pen 1 aan.

1 vrij voor +5 V	2 vrij voor +5 V
3 0V (aarde)	4 0V (aarde)
5 CLOCK	6 –M1 SYNC BA
7 –WAIT RDY –HALT	8 –RESET
9 –NMI –IPL1	10 –IRQ –IPL0
11 –RD	12 –WR RD/-WR
13 CL2 E	14 –IORQ
15 VMA DS	16 X VRIJ
17 A15	18 A14
19 A13	20 A12
21 A11	22 A10
23 A9	24 A8
25 A7	26 A6
27 A5	28 A4
29 A3	30 A2
31 A1	32 A0
33 D7	34 D6
35 D5	36 D4
37 D3	38 D2
39 D1	40 D0

4.1.2 Sinclair ZX Spectrum

Sinclair Research was een in Cambridge gevestigd bedrijf van Sir Clive Sinclair. Dit bedrijf werd opgericht na het faillissement van Sinclair Radionics. Dat bedrijf produceerde onder andere een elektronisch horloge en een kleine rekenmachine. Sinclair Research was één van de belangrijkste Europese huiscomputer fabrikanten en was ook de bakermat van Acorn computer. In 1977 was het eerste computer produkt van Clive Sinclair leverbaar, de MK14, een bouwpakket. Het bedrijf heette toen Science of Cambridge. In 1981 kwam de ZX81 van Sinclair Research uit. Doordat deze zeer goedkope computer ook kant en klaar te koop was, veroorzaakte dit apparaat een doorbraak op de Europese hobbymarkt. De ZX Spectrum is in 1982 als opvolger van de ZX81 op de markt gebracht. De Spectrum was in januari 1983 voor het eerst in Nederland leverbaar en er zijn hier tienduizenden van verkocht, in de hele wereld miljoenen. Sinds Sinclair Research en dus ook de Spectrum, eind 1985 door Amstrad van Clive Sinclair is overgenomen, is de computer in Nederland eigenlijk niet meer van betekenis geweest.
Door de aanwezigheid van een volledige Z80-bus en een behoorlijke Basic met o.a. 64k I/O-ruimte is de Spectrum uitstekend geschikt voor meet- en regeltoepassingen. De Spectrumbus is één van de eenvoudigste huiscomputerbussen om randschakelingen voor te ontwerpen. Er is dan ook een grote hoeveelheid literatuur in de vorm van boeken en artikelen beschikbaar over interfacing met de Spectrum. Dit ondanks zijn tere ULA's en voor vernieling gevoelige bus. Een randschakeling voor de Spectrum moet altijd extra goed gekontroleerd worden voordat hij aangesloten wordt.

De adressering kan het beste zo ingesteld worden dat het Mikrosysteem in het hoge deel ligt (adressen boven 255 decimaal). In de onderste 256 adressen is het dringen geblazen. Sinclair heeft het zichzelf uiterst simpel gemaakt. De standaard randapparatuur zoals microdrive en printer worden allemaal rechtstreeks met één adreslijn aangestuurd. Daarmee is op de dekodeerlogika in die randapparaten bespaard. Daarnaast is er door een leger van fabrikanten allerlei randapparatuur op de markt gebracht. Terwijl slechts een enkele standaard door de markt is geaksepteerd. Bijvoorbeeld de Kempston joystickpoort op IN(31). Sinclair heeft in dat opzicht niets gedaan aan het begeleiden van het produkt. Het ontbreken van een standaard parallel printerinterface en diskdrive-interface plus operating system zijn belangrijke problemen voor de Spectrumgebruikers geweest.

De adressering is als volgt samengesteld:

Lijn	Gebruik	Stand	Decimaal
A0	ULA	1	1
A1	diverse randapparatuur	0	0
A2	ZXPrinter	1	4
A3	Interface one	1	8
A4	Interface one	1	16
A5	diverse randapparatuur	1	32
A6	diverse randapparatuur	1	64
A7	diverse randapparatuur	1	128
Basisadres is totaal			253

A8	mikrobus register keuze 0	Reg	256
A9	mikrobus register keuze 1	Reg	512
A10	mikrobus register keuze 2	Reg	1024
A11	mikrobus register keuze 3	Reg	2048
A12	mikrobus register keuze 4	Reg	4096
A13	mikrobus kaartkeuze A	Kaart	8192
A14	mikrobus kaartkeuze B	Kaart	16384
A15	mikrobus kaartkeuze C	Kaart	32768

De –Kaartkeuzesignalen liggen dus 8192 adres plaatsen uit elkaar en de Registerkeuze 256.

Het decimale adres van elke gewenste lokatie binnen het Mikrosysteem is als volgt te vinden:
Basis adres + Gewenste kaart * 8192 + Register keuze * 256.
Voorbeeld, kaart drie met registerkeuze 1 aktief.

253 + 3 * 8192 + 256 = 25085. Dat adres wordt dus bereikt met A=IN(25085) om te lezen of OUT 25085,A om de waarde in variabele A naar de randschakeling te schrijven.

De adreslijnen moeten dus anders worden aangesloten dan in het schema van de universele buffer is aangegeven. Adreslijn 0 t/m 7 worden met IC1, de 74HCT688, verbonden voor de basisadres verzorging. A8 t/m A12 worden via een buffer als Registerkeuzesignalen gebruikt. A13, A14 en A15 zorgen via de 74HCT138 voor de –Kaartkeuze signalen.
De dilschakelaars S1, 3, 4, 5, 6, 7 en 8 worden open gelaten, S2 wordt gesloten. Er zijn geen bekende randapparaten die dan nog in konflikt kunnen komen met het Mikrosysteem. Maar er kan natuurlijk met de schakelaar geëxperimenteerd worden. De adressering verloopt jammer genoeg fragmentarisch.
Het kontrolesignaal –IORQ, I/O-request, moet ook bij de basisadressering worden betrokken. Deze levert samen met de acht laagste adreslijnen via OF-poort IC5B het -Bus-gekozen signaal.

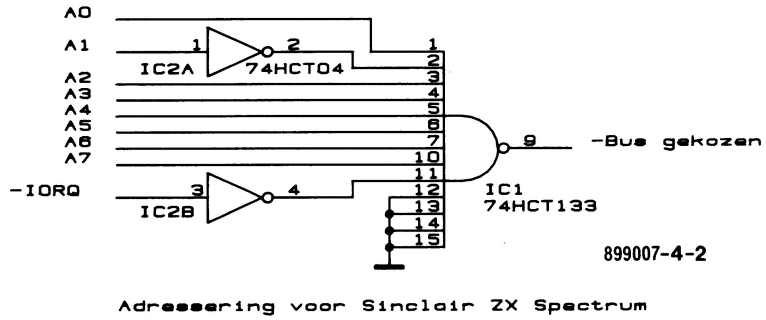
De Kontrolelijnen worden aangesloten volgens de jumpertabel bij de figuur, jumper 1b, 2a, 4a en 4c sluiten. Zie de bespreking van de Z80 voor meer uitleg.

Als de busbuffer alleen met een ZX Spectrum moet werken, kan de basisadressering met een 74LS133 worden uitgevoerd. Dit is een Niet-EN (NAND) -poort met dertien ingangen. Als ingang 1 *en* 2 *en* 3 *en* 4 enz, t/m ingang 13 allemaal *hoog* zijn, is de uitgang *laag*. De adreslijnen A0, 2, 3, 4, 5, 6 en 7 worden direkt op de ingangen aangesloten. Adreslijn A1 via een inverter. Verder moet -IORQ via een inverter met een ingang van de 74LS133 verbonden worden.

4.1.2.1 Aansluiting Sinclair ZX Spectrum

Konnektor: 56-polige card-edge konnektor, 0.1'' raster.
Slot voor juiste aansluiting op pin 5A/B.

Dipswitch S1: 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 open en 2 gesloten.



Figuur 4-2. Basisadressering Sinclair ZX Spectrum

μBUS	SPECTRUM		μBUS	SPECTRUM	
kontrole signalen:					
1	vrij voor +5 V		2	vrij voor +5 V	
3	6B	0V (aarde)	4	7B	0V (aarde)
5	8B	CLOCK	6	24A	-M1
7	21A	-WAIT	8	20B	-RESET
9	14A	-NMI	10	13A	-INT
11	18A	-RD	12	19A	-WR
13	xx	niet gebruikt	14	13B	-IORQ
15	xx	niet gebruikt	16	X	VRIJ
adres:					
17	21B	A7	18	22B	A6
19	23B	A5	20	24B	A4
21	12B	A3	22	11B	A2
23	10B	A1	24	9B	A0
25	1A	A15	26	1B	A14
27	2A	A13	28	2B	A12
29	28B	A11	30	27A	A10
31	27B	A9	32	26A	A8
data:					
33	3A	D7	34	9A	D6
35	10A	D5	36	12A	D4
37	11A	D3	38	8A	D2
39	7A	D1	40	6A	D0

4.1.2.2 Programmeren

Om met het Mikrosysteem in machinetaal te werken moet rekening worden gehouden met het feit dat er een 16-bits adres gegeven moet worden. De wijze waarop dat gaat hangt af van de gebruikte I/O-instruktie. Bij register-indirekte I/O-operaties staat de inhoud van het Z80 C-register op A0..7 en de inhoud van het Z80 B-register op A8..15. Bij direkte adressering met IN A,n of OUT n,A zal het adres n op de acht laagste adreslijnen staan en de waarde in register A van de Z80 op de acht hoogste adreslijnen verschijnen. Daar kan nuttig gebruik van worden gemaakt.

Sinclair Basic kent IN en OUT opdrachten, deze werken met 64k-adressen. Daardoor kan de voor het Mikrosysteem gebruikte adressering ook goed toegepast worden.

Uitrekenen adres:

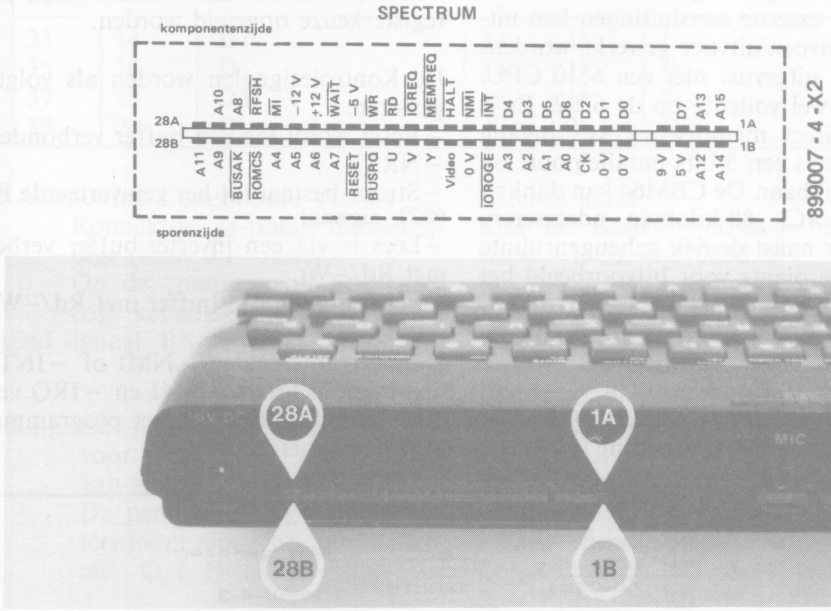
K=Kaartnummer $0 \leq K \leq 7$, R=Register nummer $0 \leq R \leq 31$d.

Adres = 253d + K·8192d + R·256d

Lezen: X = IN(ADRESd)

Schrijven: OUT ADRESd , WAARDEd.

Zowel het adres als de waarde moeten decimale getallen zijn.



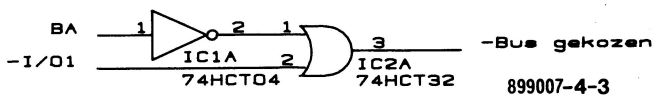
Figuur 4-X2. Busaansluiting konnektor pinout

Voorbeeld voor Kaart 0, Register 0.
Lees vanuit de I/O-poort naar variabele X:
X=IN(253)
Schrijf de waarde in variabele X naar de I/O:
OUT 253,X

4.1.3 Commodore 64

De Commodore 64 is de meest verkochte 8-bits huiscomputer. De CBM-64 (VIC-64) werd in 1982 als opvolger van de in 1980 geïntroduceerde VIC20 gebracht. De geschiedenis van Commodore is te uitgebreid om hier te behandelen. Ergens in die geschiedenis heeft Commodore Mostek overgenomen. Zo werd het uit de eind zeventiger jaren bekende SYM-1-board ook onder de naam Commodore uitgebracht. Voor de VIC20 kwam de roemruchte PET, die over een IEEE-interface beschikte. Doordat er bij de CBM-64 voorzien is in een behoorlijk toetsenbord, een geluidsgenerator, een joystickinterface en een standaard diskdrive heeft deze computer de konsument achter zich gekregen. Helaas is het Basicdialekt niet bepaald fraai, maar met los verkrijgbare Basics is daar wel wat aan te doen. De C64 is duidelijk bedoeld om aan het grote publiek een produkt te verkopen en daarin is men geslaagd. Vooral spelletjes lopen door de hardwarevoorzieningen voor grafiek en geluid, goed op een CBM64. Via de poort voor externe aansluitingen kan uitstekend met invoer/uitvoer gewerkt worden. De CBM64 is uitgerust met een 6510 CPU. Deze lijkt vrijwel volledig op de 6502. Er is een DMA, direct memory access, -ingang aanwezig en er is een 5-bits parallelpoort op de CPU beschikbaar. De CBM64 kan dankzij een speciaal IC, 88-kilobyte adresseren. Daardoor is er naast de 64k geheugenruimte ook voldoende plaats voor bijvoorbeeld het Mikrosysteem.
Op de externe busaansluiting zijn de volgende signalen van belang voor het Mikrosysteem: Data 0..8, Adres 0..4, −I/O1, −I/O2, Bus Available (BA), Rd/−Wr, Klok2, −Reset, −NMI en voeding 0V/+5 V.
De CBM64 voorziet in twee speciale signalen op de konnektor om aan te geven dat er een I/O-gebied is geselekteerd. −I/O1 en −I/O2. Elk signaal heeft een werkgebied van 256 adressen. Beide zijn dus elk groot genoeg om het Mikrosysteem met het maximale aantal adressen te gebruiken. Het adresgebied van 56832d tot en met 57087d hoort bij −I/O1, −I/O2 beslaat het gebied van 57088d tot en met 57343d. Bij de basisadressering moet het signaal BA ook betrokken worden. Als BA laag is betekent dat, dat het adres op de bus niet voor I/O bedoeld is, maar afkomstig is van de grafische processor. Voor de basisadressering moet BA dus hoog zijn en −I/O1 (of −I/O2) laag. Eigenlijk is daarmee de hele basisadressering al klaar. Eén van de signalen −I/O1 of −I/O2 wordt op ingang P0 (pin2) van de 74HCT688 aangesloten. Het signaal BA wordt op P1 (pin4) aangesloten. De andere ingangen worden met +5 V verbonden. Van S1 worden schakelaar 1, 4, 5, 6, 7 en 8 gesloten en 2 en 3 open gelaten.
De Registerkeuzesignalen worden verzorgd door de adreslijnen nul tot en met vier. De −Kaartkeuzesignalen worden samengesteld uit de A5, 6 en 7.
De adressen zijn dus eenvoudig te berekenen. Als basisadres is 56832 of 57088 mogelijk. Daarbij moet het kaartnummer x 32 plus de registerkeuze opgeteld worden.

De Kontrolesignalen worden als volgt aangesloten:
−Reset wordt via een buffer verbonden met −NRST.
−Strobe bestaat uit het geïnverteerde Klok 2 (Φ2) -signaal.
−Lees is via een inverter-buffer verbonden met Rd/−Wr.
−Schrijf is via een buffer met Rd/−Wr verbonden.
De interruptsignalen −NMI of −INT worden eventueel met −NMI en −IRQ verbonden. Doe dit alleen als het programma ook met interrupts werkt!



Figuur 4-3. Basisadressering Commodore VIC-64

De 74HCT688 en de dilschakelaar kunnen in dit geval door een ¼ 74HCT32, OF-poort, en een inverter vervangen worden. Figuur 4-3 laat zien hoe het −Bus gekozen signaal op eenvoudige wijze verzorgd kan worden.

4.1.3.2 Programmeren
CBM64-Basic kent PEEK- en POKE-opdrachten voor respektievelijk Lees en Schrijf.

Aansluiting op de 40-polige header van de universele busbuffer:

μBUS	CBM64		μBUS	CBM64	
kontrolesignalen:					
1	(2)	vrij voor +5 V	2	(3)	vrij voor +5 V
3	1, 22	massa	4	A, Z	massa
5	xx	niet aangesloten	6	xx	niet aangesloten
7	xx	niet aangesloten	8	C	−RESET
9	D	−NMI	10	4	−IRQ
11	xx	niet aangesloten	12	5	RD/-WR
13	E	CL2 (S02)	14	xx	niet aangesloten
15	xx	niet aangesloten	16	xx	vrij
adres:					
17	xx	massa	18	xx	massa
19	xx	massa	20	xx	massa
21	xx	massa	22	12	BA
23	10	I/O 2	24	7	I/O 1
25	R	A7	26	S	A6
27	T	A5	28	U	A4
29	V	A3	30	W	A231
X	A1	32	Y	A0	
data:					
33	14	D7	34	15	D6
35	16	D5	36	17	D4
37	18	D3	38	19	D2
39	20	D1	40	21	D0

4.1.3.1 Aansluiting Commodore VIC-64

Konnektor: 24-polige dubbelzijdige print, 0.1'' raster.
Op de computer zit een card-edge konnektor.

Afwijkend signaal: BA (bus available) 'hoog' geeft de mikrobus vrij.

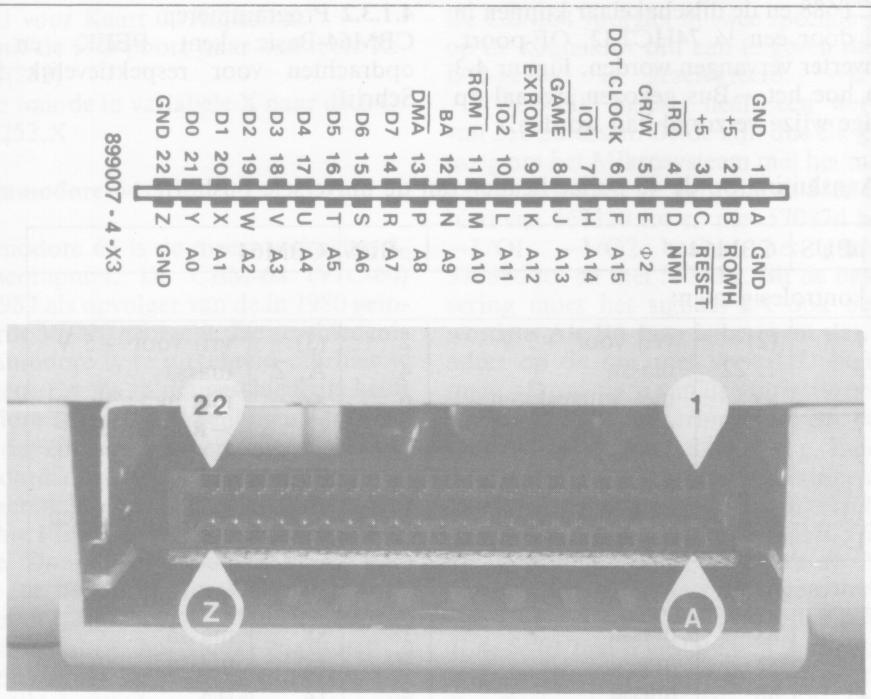
Opmerking: De niet-aangesloten ingangen voor adreslijnen (10..15) moeten aan massa gelegd worden.
De pennummering van de letters loopt niet echt door, de letters G, I, O en Q ontbreken.

Dipswitch S1: 1, 4, 5, 6, 7 en 8 sluiten en 2 en 3 open.

Bereken adres:
Kies uit Basis = −I/O1 = 56832d of Basis = −I/O2 = 57088d.
K = Kaartnummer $0 \leq K \leq 7$,
R = Registernummer $0 \leq R \leq 31$d.
Adres = Basis + K·32d + R

Lees: X = PEEK(adres)
Schrijf: POKE adres,waarde

Voorbeeld: Een Mikrosysteem aangesloten op −I/O1 en een poort aangesloten op −Kaartkeuze 0, Register 0:
Lees vanuit de I/O-poort naar variabele X:
X = PEEK(56832)
Schrijf de waarde X naar de I/O-poort: POKE 56832,X



Figuur 4-X3. Achterkant CBM-64

4.1.4 Acorn BBC computers

Acorn is één van de oude Europese huiscomputerfabrikanten, het bedrijf komt voort uit de studentenwereld van Cambridge in Engeland. Tegenwoordig is Acorn een onderdeel van het Italiaanse Olivetti concern. In 1978 werd de Cambridge Processing Unit, CPU, gestart door Chris Cury en Hermann Hauser. De eerste vestigingsplaats was het bedrijf van Clive Sinclair, Science of Cambridge, waar Cury de marketing deed. In maart 1979 werd een nieuw bedrijf als opvolger van 'CPU' opgericht: Acorn Computers. Het eerste produkt, de System One was op een 6502-CPU gebaseerd en had 512 bytes geheugen. Het was alleen als bouwpakket te koop en kostte £70. Het volgende produkt, de Acorn Atom werd in 1980 op de markt gebracht. Deze computer had een Basic aan boord en is een van de oer-huiscomputers. Het volgende produkt heette tijdens de ontwikkeling in 1980 de Proton. In april 1981 zag Acorn kans om het beroemde kontrakt voor de levering van 12.000 computers voor een BBC-computerprojekt te verkijgen. Vanaf toen heette die computer de Acorn-BBC.

De BBC heeft met die computerkursus in Engeland een standaard voor Basic neergezet. De BBC-Basic staat bekend als een gestruktureerde op Pascal lijkende taal. Ook in de huidige RISC-supercomputer van Acorn, de Archimedes wordt BBC-Basic gebruikt.
Uiteindelijk is er een serie 'BBC'-computers gekomen, de BBC-B, BBC-B+, BBC-master, BBC-compact en de Electron. De BBC-B, of BEEB zoals de bijnaam in Engeland is, is de bekendste. Dit is een uiterst stabiele huiscomputer. De stevige kast, het toetsenbord en de I/O-voorzieningen hebben het een veelgebruikte computer voor serieuze besturingstoepassingen gemaakt.

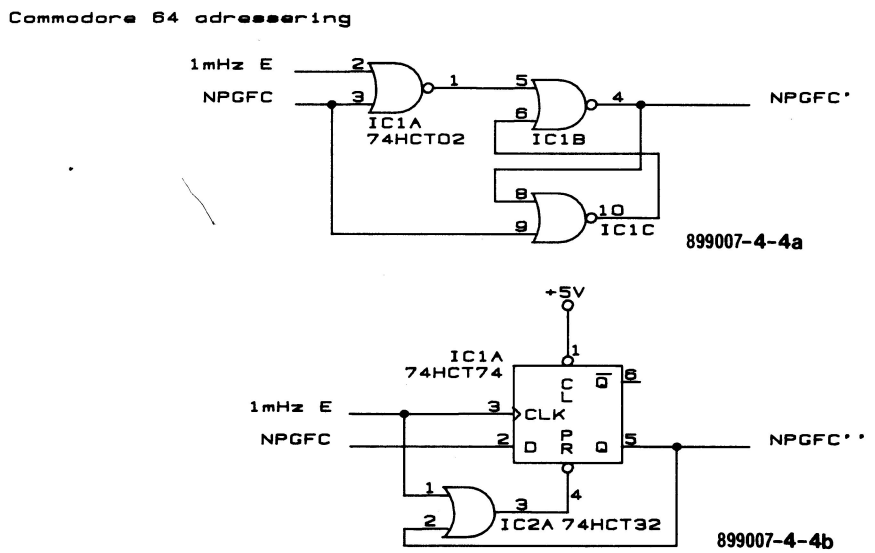
Op alle BBC-machines, behalve de Compact en de Electron, komt een 1 MHz-bus voor externe I/O voor. Het Mikrosysteem wordt daarop aangesloten. Dit is getest met de BBC-B, BBC-Master en Archimedes. De laatste computer is uiterst krachtig en kan het hart vormen van een zeer snel en kompleet meet- en regelsysteem.
Op de 1MHz-bus komen de signalen page-select –FC (NPGFC) en page-select –FD

(NPGFD) voor. Page-select –FC is laag als een adres is gekozen in het gebied tussen FC00h en FCFFh en –FD is laag bij een adres tussen FD00h en FDFFh. Deze twee gebieden van elk 256 adressen hebben in Acorn-geheimtaal een naam, pagina FC heet FRED en pagina FD heet JIM. Normaal gesproken wordt externe I/O in het gebied FC (FRED) aangesloten. Daarvan zijn 255 adressen beschikbaar. Externe geheugenuitbreiding wordt geplaatst in pagina FD (JIM). Op adres FCFFh, dus bovenin in FRED, zit het pagingregister voor JIM. Dat is dus het niet vrije adres in FRED. Hiermee kunnen 256 pagina's geheugen in de pagina JIM worden geadresseerd, totaal 256 x 256 = 64k in JIM dus. De toegangstijd tot dit geheugen is zo'n twintig keer trager dan van het gewone RAM. Het Mikrosysteem wordt dus bij voorkeur in pagina FCh, FRED, geplaatst. Maar daarvan is al een heel stuk toebedeeld aan diverse beschikbare en toekomstige randschakelingen. Er blijft maar weinig ruimte voor gebruiker-I/O over. Deze ruimte ligt ook nog niet aaneengesloten. Daar staat tegenover dat randapparatuur voor de BBC-computers tenminste een duidelijk omschreven plaats heeft. Op die manier is de chaos zoals bij bijvoorbeeld Sinclair voorkomen. Als er andere randapparatuur op de 1 MHz-bus is aangesloten, moet er extra adresdekodering plaats vinden. Zie daarvoor de hierna volgende tabel. Het Mikrosysteem kan dan natuurlijk ook in JIM geplaatst worden, maar de toegangstijd is dan wel veel groter.

De voorgeschreven plaats van randapparatuur in pagina FRED is:

Adres	Gebruik BBC 1 MHz bus
FC00-FC0F	test hardware
FC10-FC13	Teletext
FC14-FC17	niet gebruikt
FC18-FC1F	gereserveerd
FC20-FC27	IEEE 488 interface
FC28-FC2F	ongedefinieerd
FC30-FC3F	Cambridge ring
FC40-FC47	Hard disk
FC48-FC4F	gereserveerd
FC50-FC5F	ongedefinieerd
FC60-FC72	ongedefinieerd
FC73-FC7F	ongedefinieerd
FC80-FC8F	test hardware
FC90-FCFE	ongedefinieerd
FCFF	paging register JIM

De pagina-select signalen NPGFC (–select FRED) en NPGFD (|-select JIM) zijn niet geschikt als strobesignaal. De BBC werkt met een 2MHz-klok voor geheugenakties. Als met de 1MHz-bus wordt gewerkt, vertraagd de BBC de aktie. Jammer genoeg gebeurt dat



Figuur 4-4. Pagina-select signaalbewerking Acorn BBC-B

niet met een optimaal circuit, daardoor komen er 2MHz-pulsen op deze twee lijnen voor. Hierdoor ontstaan problemen met IC's waarvan registers gereset worden door een lees- of schrijfaktie. Indien het aansturen van een schakeling niet vlekkeloos verloopt, kan een page-select signaal met de schakeling uit figuur 4-4A grotendeels worden opgepoetst. Om de 2 MHz-pulsen volledig te onderdrukken moet een schakeling gebruikt worden die de lees- of schrijfpuls wel erg kort maakt. Deze schakeling (figuur 4-4b) kan normaal gesproken beter niet gebruikt worden om het page-selekt signaal op te poetsen. Overigens zijn beide schakelingen bij de in dit boek beschreven basiskaarten niet nodig.

4.1.4.1 Aansluiting Acorn BBC 1MHz bus.

Konnektor: 34-polige bandkabel socket konnektor.

Pin 1 en 34 worden met de buitenste draden van de bandkabel verbonden.

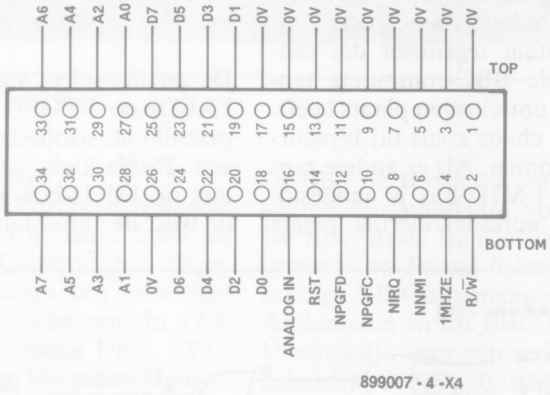
De konnektor zit bij vooraan onder de computer, er moet een redelijk lange bandkabel gebruikt worden om de busbuffer aan te sluiten.

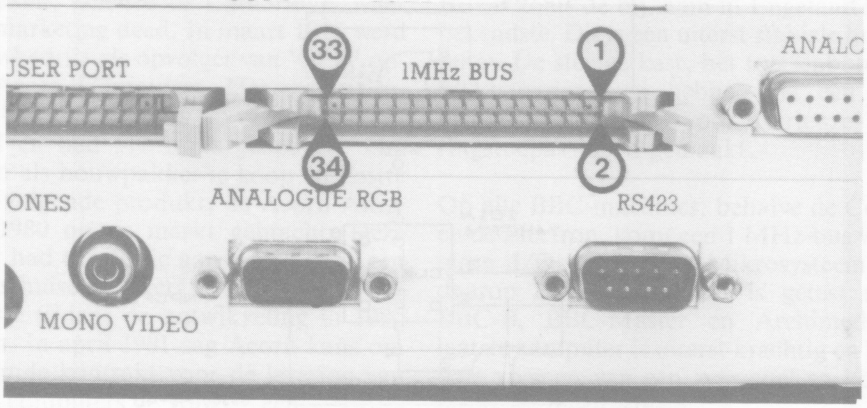
Afwijkend signaal: Het pagina-select signaal moet eventueel nog van 2MHz-stoorpulsen ontdaan worden.

Dipswitch S1: 1, 3, 4, 5, 6, 7 en 8 sluiten en 2 open.

Voor adressering in JIM moet 1 open zijn en 2 gesloten worden.

Aansluiting op de 40-polige header van de universele busbuffer:





Figuur 4-X4. Bus pinout BBC-B en Archimedes (foto).

μBUS	BBC 1MHz poort		μBUS	BBC 1MHz poort	
kontrolesignalen:					
1	X	eventueel +5 V	X	eventueel +5 V	
3	1, 3, 5, 7, 9 massa		4	11, 13, 15, 17 massa	
5	xx	niet gebruikt	6	xx	niet gebruikt
7	xx	niet gebruikt	8	14	-RESET (RST)
9	6	-NMI (NNMI)	10	8	-IRQ (NIRQ)
11	xx	niet gebruikt	12	2	RD/-WR
13	4	CL2 (1MHzE)	14	xx	niet gebruikt
15	xx	niet gebruikt	16	xx	vrij
adres:					
17	xx	massa	18	xx	massa
19	xx	massa	20	xx	massa
21	xx	massa	22	xx	massa
23	12	NPGFD - JIM	24	10	NPGFC - FRED
25	34	A7	26	33	A6
27	32	A5	28	31	A4
29	30	A3	30	29	A2
31	28	A1	32	27	A0
data:					
33	25	D7	34	24	D6
35	23	D5	36	22	D4
37	21	D3	38	20	D2
39	20	D1	40	18	D0

4.1.4.2 Programmeren.

Het programmeren gaat bij de BBC-serie computers ingewikkelder dan bij de andere in dit boek beschreven computers. Maar op die manier heeft Acorn kans gezien een serie computers te maken die allemaal met dezelfde programma's kunnen werken. Een programma dat goed is opgebouwd kan op de Electron, elke BBC en de Archimedes werken. Programma's moeten dan niet direkt met de geheugenlokaties werken, maar via de OSBYTES 92h, 93h, 94h en 95h van het Machine Operating System . Zoiets gaat via een aantal Basic-opdrachten. Dit is een vorm van machinetaal programmeren vanuit Basic. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de integervariabelen A%, X% en Y% om de registers van de CPU te laden. In het A-register van de CPU, de accumulator, moet worden gezet welke OSBYTE-aktie ondernomen moet worden, zie de hierna volgende tabel. Hiervoor moet de integervariabele A% op de gewenste waarde worden gezet. Het komt dus neer op A% = 146 voor lezen en A% = 147 om te schrijven. De onderste acht bits van het adres moeten in het X-register van de CPU worden gezet. Dit heet de offset binnen de pagina, dat wil zeggen hoeveel er bij het basisadres van de pagina opgeteld moet worden om bij het gewenste adres te komen. Daarvoor moet de kaartkeuze met 32 vermenigvuldigd worden, daarna de register keuze erbij optellen. X% = offset = kaart·32 + register. De waarde in het Y-register is bij lezen onbelangrijk. Bij schrijven moet de te schrijven waarde in het register worden gezet, Y% = Variabele of getal (0..255d). Als dat is gebeurd kan de OSBYTE-routine worden aangeroepen via: variabele = USR(&FFF4). Bij lezen wordt de gelezen waarde in de integervariabele gezet waarmee de routine is aangeroepen, als voorbeeld is Z% genomen, maar A% of X% mag zelfs ook, alhoewel dat natuurlijk bij voorkeur niet wordt gedaan. Na een leesaktie staat er een 4 bytes groot getal in de integervariabele (Z%). De waarde die vanuit het Mikrosysteem is gelezen, staat in het tweede byte. Om dat byte er uit te halen moeten de ongewenste drie bytes gemaskeerd worden, daarna moet de waarde één byte opgeschoven worden. Daarvoor moet er eerst een logische

AND-operatie met de hexadecimale waarde 00FF0000h gedaan worden, daarna wordt de waarde gedeeld door hexadecimaal 10000h. Zie het voorbeeldprogramma.

De vier voor het Mikrosysteem belangrijke OSBYTES:

OSBYTE	PAGINA	AKTIE	X-register	Y-register
92h 146d	FCh FRED	Lees	page-offset	databyte
93h 147d	FCh FRED	Schrijf	page-offset	databyte
94h 148d	FDh JIM	Lees	page-offset	databyte
95h 149d	FDh JIM	Schrijf	page-offset	databyte

Na de aktie is de inhoud van het A register bewaard gebleven en die van het C register ongedefinieerd.

Voorbeeld programma met opmerkingen achter de dubbele punt.

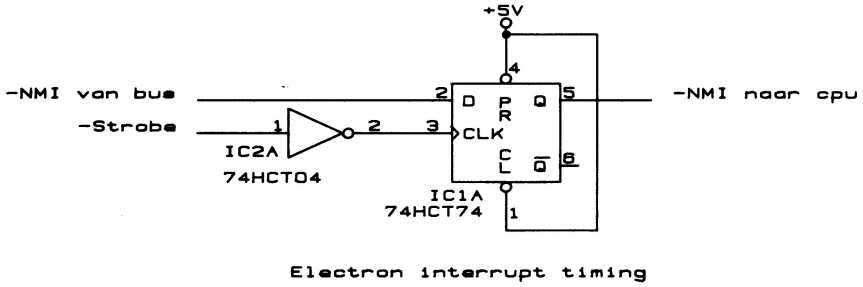
```
REM Off-set adres opgeven vanaf toetsenbord
10    Input''Kaart nummer   '';K
20    Input''Register nummer '';R
30    O=K*32+R   :In variabele O wordt de off-set gezet.
REM Lezen
40    A%=146     :zet het osbyte LEES FRED in het A register.
50    X%=O       :zet het adres binnen FRED (off-set) in X register.
60    Z%=USR(&FFF4)                          :roep de OSBYTE routine aan.
70    Z%=((Z% AND &00FF0000)/&10000)         :bewerk de waarde in Z%.
80    Print Z%   :print de gelezen waarde decimaal.
REM Schrijven
90    Input''Te schrijven waarde 0..255  '';V
100   Print V    :voor de duidelijkheid, V = te schrijven waarde.
110   A%=147     :zet het osbyte SCHRIJF FRED in het A register.
120   X%=O       :zet het adres binnen FRED (off-set) in X register.
130   Y%=V       :zet waarde uit variabele V in het Y register.
140   Z%=USR(&FFF4)                          :roep de OSBYTE routine aan.
```

Vanaf de command line kan op eenvoudige wijze een schrijfopdracht worden gegeven. Lezen is op die manier niet mogelijk.
Schrijf vanaf de command line: *FX147,X,Y (X=off-set, Y=waarde).

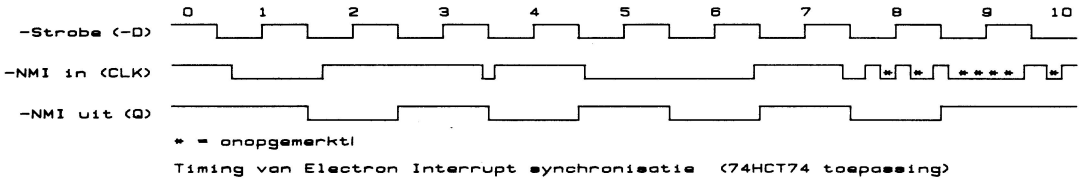
4.1.5 Acorn Electron

De Acorn Electron werd in juli 1983 geïntroduceerd en is te zien als een kleine Acorn BBC-B. Deze computer is in Nederland vooral bekend doordat er een grote partij voor afbraakprijzen van is verkocht. Op zich is de Electron te laat gekomen om nog een groot deel van de markt te kunnen bereiken. Het gebruik van BBC-Basic heeft de computer nog wel een plaats gegeven in Engeland, waar BBC-Basic een standaard op scholen is. De Electron is voor een groot deel gelijk aan de grote broer de BBC, op een gunstige uitzondering na. Op de Electron is de volledige 6502 CPU-bus beschikbaar, daarmee is het een heel geschikte computer voor het aansluiten van randapparaten.

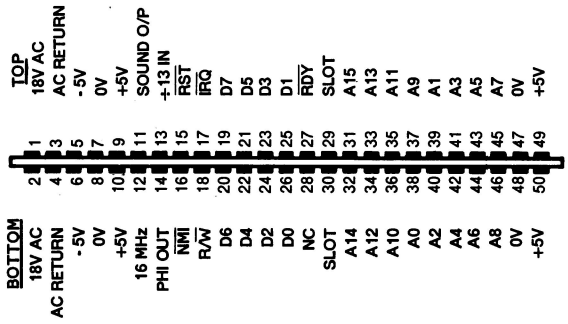
Het gebied van FC00h tot en met FCFFh is bedoeld voor memory-mapped I/O via de 1MHz-bus van de BBC-B. Vanwege de kompatibiliteit wordt die adres ruimte ook bij de Electron voor hetzelfde doel gebruikt. Er zijn bij de Plus One interface een stel funkties in pagina FRED opgenomen die bij de BBC-B in pagina 'Sheila' intern aanwezig zijn. Het gevolg is dat bij gebruik van het Plus One interface, het aantal vrije adressen binnen Fred nog kleiner is dan bij de BBC-B. Als de Plus One interface niet wordt gebruikt, is er niets aan de hand. Als die wel wordt gebruikt kan pagina FRED beter niet voor het Mikrosysteem gebruikt worden. Er moet dan dus ergens anders binnen het geheugengebied een plaats worden gezocht.
Het adresgebied FC00h (64512d) tot en met FCFEh (64766d) wordt bereikt met adreslijn



Figuur 4-5A. Acorn Electron interruptsignaal verzorging



Figuur 4-5B. Electron Interrupt signaal timing



Figuur 4-X5. Bus pinout van de Electron

8 en 9 laag en 10 tot en met 16 hoog. Het hoogste adres in deze pagina, adres FCFFh (64767d) mag niet gebruikt worden. Dat is namelijk het adres van het pagineringsregister voor pagina JIM (FDh). Er zijn dus 255 adressen en geen 256 beschikbaar.

De kontrolesignalen moeten volgens de bij het schema afgedrukte tabel voor de 6502 worden aangesloten. De –NMI ingang moet met enige zorg behandeld worden. Een laag aktieve –NMI mag pas doorgegeven worden op de dalende flank van –Strobe (phi-out). Op de externe busaansluiting is geen 1 MHz-klok beschikbaar, maar omdat er op de basiskaarten toch al nooit gebruik wordt gemaakt van IC's die een kloksignaal moeten hebben, is dat geen probleem. Als het 1 MHz-kloksignaal wel aanwezig moet zijn, zal het simpelweg delen door 16 van de 16MHz-klok niet voldoen. Een 1MHz-klok moet met reset en strobe gesynchroniseerd worden, zodat het synchroon loopt met het 1MHz-kloksignaal in de ULA.

4.1.5.1 Aansluiting Acorn Electron

Konnektor: 50-polige card-edge konnektor, 0.1'' raster.

Afwijkend signaal: Voor het werken onder interrupt kontrole moet de interrupt lijn van de busbuffer naar de computer, met klok2 gesynchroniseerd worden.

Dipswitch S1: 1 en 2 sluiten, 3, 4, 5, 6, 7 en 8 open.

Aansluiten op de 40-polige header van de universele busbuffer:

K = Kaartnummer $0 \leq K \leq 7$, R = Register nummer $0 \leq R \leq 31$.

Adres = 64512d + K·32d + R.
Gebruik het hoogste adres 64767d niet!

De Basic van de Electron werkt met de volgende opdrachten:
Lees: X = ? adres
Schrijf: ? adres = waarde
Voor het adres en de waarde kunnen zowel getallen als variabelen worden genomen.
Voorbeeld :
Lees van kaart 0 register 0: X=?64512
Schrijf X naar kaart 0 register 0: ?64512=X

µBUS	ELECTRON		µBUS	ELECTRON	
kontrolesignalen:					
1	Extern +8V.		2	Extern +8V.	
3	7/8	massa	4	47/48	massa
5	12	16 MHz Cl1	6	X	niet gebruikt
7	27	−RDY	8	15	−RESET (-RST)
9	16	−NMI	10	17	-IRQ
11	X	niet gebruikt	12	18	RD/-WR
13	14	CL2 (phi out)	14	X	niet gebruikt
15	X	niet gebruikt	16	X	vrij
adres:					
17	31	A15	18	32	A14
19	33	A13	20	34	A12
21	35	A11	22	36	A10
23	37	A9	24	46	A8
25	45	A7	26	44	A6
27	43	A5	28	42	A4
29	41	A3	30	40	A2
31	39	A1	32	38	A0
data:					
33	19	D7	34	20	D6
35	21	D5	36	22	D4
37	23	D3	38	24	D2
39	25	D1	40	26	D0

4.1.5.1 Programmeren

Op de Electron kan rechtstreeks via een Basic-opdracht met het Mikrosysteem gewerkt worden, maar het is beter om een OSBYTE-call te gebruiken.
Het uitrekenen van het adres is redelijk eenvoudig omdat A0..7 beschikbaar zijn voor een aaneengesloten adres gebied.
Met de aanbevolen instelling voor S1 is het basis adres 64512d.

LET OP:
Het is beter om niet met ?-opdrachten in Basic te werken. Beter is het om het programma met het Machine Operating System samen te laten werken. Het kan dan op elke BBC-compatible computer lopen. De bovenstaande Basic-opdrachten werken alleen op de Electron. Zie de programmabespreking bij de BBC-B voor uitleg van het werken met het MOS via een OSBYTE-call.

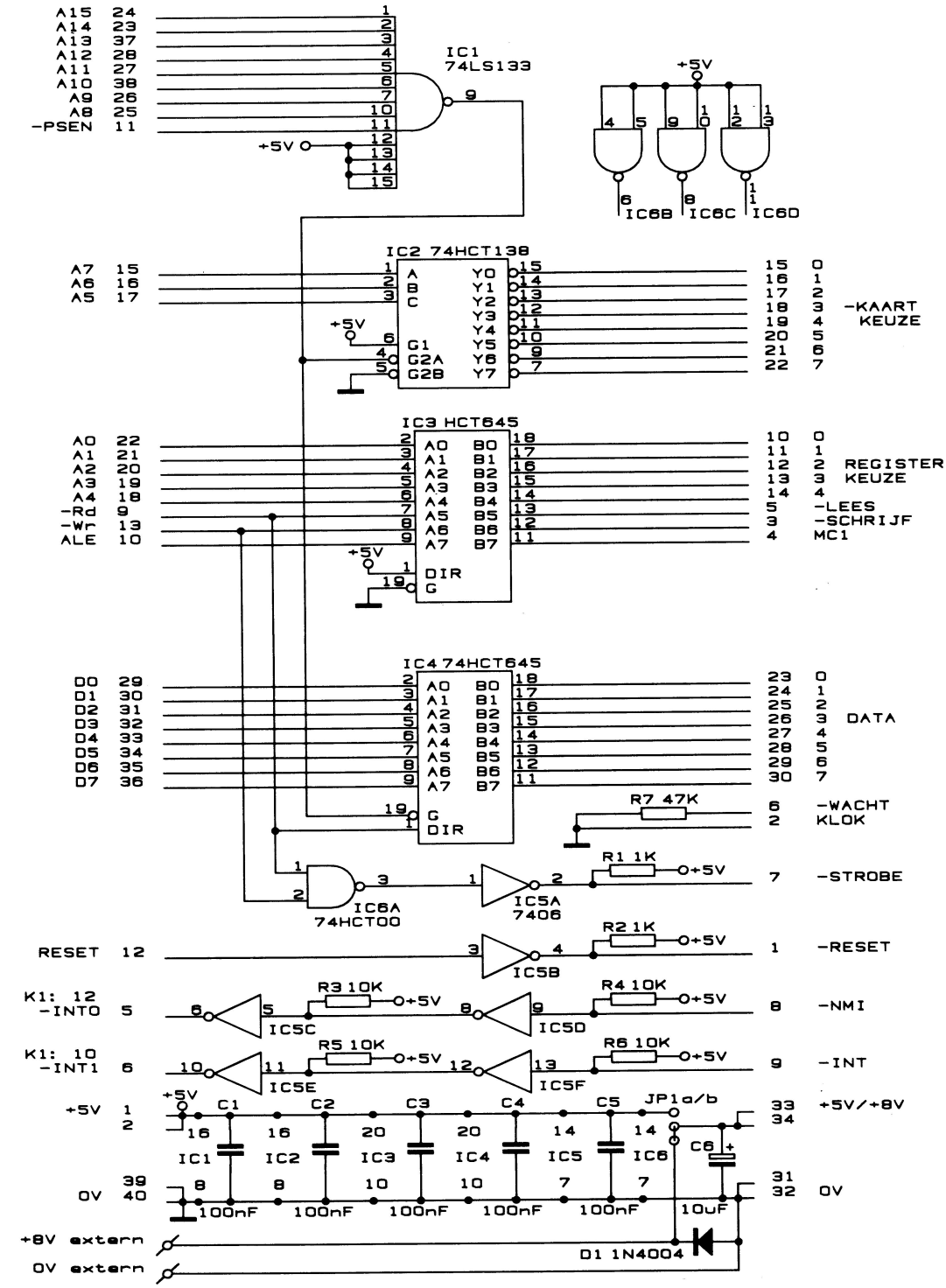
4.2 8052-Basic single chip controller.

Single chip computers vormen een belangrijke ontwikkeling voor meet- en regeltoepassingen. Ook al hebben ze alle gewenste I/O niet aan boord, er kan op eenvoudige wijze een goed systeem mee samengesteld worden. Vooral voor kontinu gebruik en een gedistribueerd (gedecentraliseerd) systeem zijn deze CPU's heel geschikt. Het samenwerken van een microcontroller met een personal computer zoals bijvoorbeeld een IBM-PC of Atari ST biedt aantrekkelijke mogelijkheden om I/O-werk te doen. De grote computer blijft beschikbaar voor allerlei werk en loopt geen gevaar tijdens experimenten. De toepassingen kunnen onafhankelijk van de grote computer funktioneren. Voor kommunikatie met het meet- en regelsysteem, voor weergave van data en voor complexe programma's kan de PC gebruikt worden. Een andere toepassing die speciale vermelding vraagt is het gebruik in geïsoleerde systemen. Door de controller samen met de extra meet- en regelelektronica uit een batterij of akku te voeden en optoisolatoren in de seriële verbinding op te nemen ontstaat een ideaal geïsoleerd systeem. Zie deel 2 voor het schema van een RS232-isolatietrap. Het feit dat de 8052-Basic met interrupts kan werken, dat het IC over direkte eprom programmeermogelijkheden beschikt en dat er een aantal Basic-programma's tegelijk in één eprom kunnen, zijn aantrekkelijke punten van de 8052.
Zo'n goed bruikbaar IC verdient een aangepaste busbuffer om het Mikrosysteem aan te kunnen sluiten.
De 8052 lijkt veel op de 8085 wat betreft de bussignalen. Om het IC goed te begrijpen is het boek "Werken met de 8052AH Basic" heel geschikt. De busbuffer volgens figuur 4-6 is bedoeld om op deze Elektuur 8052AH Basic computer (Elektuurprint EPS87192) te worden aangesloten.

Het Mikrosysteem wordt aangesloten op konnektor K2. Het gebied dat voor externe I/O beschikbaar is, ligt tussen BFFFh (49152d) en FFFFh (65535d). Adres 49152d begint als A14 en A15 hoog zijn, de rest laag. Dit loopt door tot 65535d als alle adreslijnen hoog zijn. De 8052 beschikt met zijn 16 adreslijnen over een totale adresseringsruimte van 96K. De bovenste 32K is namelijk twee keer beschikbaar. Als de pin –PSEN van de CPU laag is, wordt er een eprom aangesproken waarin alleen maar een programma mag staan. Als –PSEN hoog is, wordt er een adres binnen de 32K gekozen waar ook data en I/O in mag staan. Dus –PSEN moet in de adressering betrokken worden als een 8052 volledig en met machinetaal gebruikt moet kunnen worden.
Voor het Mikrosysteem moeten –PSEN, A14 en A15 dus hoog zijn. We gebruiken A0 tot en met A4 weer voor Registerkeuze. A5, A6 en A7 worden voor de –Kaartkeuzesignalen gebruikt. De adreslijnen A8 tot en met A13 moeten nu nog vastgelegd worden voor de basisadressering van het Mikrosysteem. Het is het beste en eenvoudigst om ook A8 tot en met A13 hoog te maken. Het Mikrosysteem begint dan op 65280d en eindigt op 65535d, het ligt dan dus boven in het data + I/O adresbereik van de CPU.

De kaart
De basisadressering wordt met een 74HCT133 13-voudige NAND-poort verzorgd. De funktie van IC2, IC3 en IC4 is duidelijk uit de beschrijving van de universele buffer. Met de EN-poort, IC6A, wordt een –Strobe signaal uit de –Rd en –Wr signalen samengesteld. De signalen –Lees en –Schrijf worden gebufferd aan de mikrobus doorgegeven. Ook ALE wordt gebufferd en daarna MC1 genoemd. De interruptsignalen –INT0 en –INT1 zijn wel op K1, maar niet op K2 beschikbaar. Gelukkig zijn er een aantal ongebruikte aansluitingen op K2, zodat deze signalen toch goed aangesloten kunnen worden. –INT0 is een soort DMA en kan op –NMI worden aangesloten. –INT1 is ook met Basic te gebruiken en moet op –INT worden aangesloten. De 7406-buffers zorgen voor een open-kollektor aansturing. De weerstanden R3 en R5 sluiten de open-kollektor ingang van de busbuffer af. Reset wordt via een inverter-buffer omgezet in –Reset. Een aansluiting van het kloksignaal ontbreekt op de 8052, want de klokgenerator is ingebouwd. Een –Wachtingang is ook niet beschikbaar. Deze twee lijnen blijven dus onaangesloten op de mikrobus.

Het programma
In 8052-Basic wordt een nogal ongebruikelij-



Figuur 4-6. 8052-Basic Busbuffer

ke opdracht voor invoer en uitvoer gebruikt. Zoals eerder opgemerkt bestaat er verschil tussen het lezen en schrijven van en naar kode- (programma-) of extern geheugen.
Lezen vanuit het externe geheugen:
A = XBY(adres)
Schrijven naar het externe geheugen:
XBY(adres) = A

Bij de hier gebruikte adresdekodering voor de mikrobus is het adres van register 0 op kaart 0: 65280d.
Lezen van kaart 0, register 0 naar variabele A: A = XBY(65280)
Schrijven van variabele A naar kaart 0, register 0: XBY(65280) = A
Uitrekenen van het kaartadres:
kaartadres = 65280 + K*32

4.3 MSX-busbuffer

De MSX-computers zijn de enige huiscomputers die volgens een door een groep van fabrikanten vastgestelde standaard zijn gemaakt. De grote konsumenten-elektronica concerns wilden ook een deel van de computerkoek. Terecht zagen ze in dat het zetten van een standaard een goede manier was om de konsument over een grote drempel heen te helpen. Eind 1984 was het zover dat de MSX-computers in Nederland goed verkrijgbaar waren. De computermarkt was in volle beweging, CP/M was nog een bekende standaard en niemand voorzag de stormachtige opkomst van de 16-bitters. Laat staan de kracht die relatief betaalbare 32-bit's CPU's anno nu hebben. MSX is dan ook nooit geworden wat er van verwacht werd. Op het moment dat MSX goed verkrijgbaar werd, was de markt al weer verder. De IBM-PC klonen begonnen de markt toen al in te nemen. We zien dat het zo suksesvolle MS-DOS eigenlijk voor één fabrikant bedoeld was (IBM) en later, mede door de klonen, een soort standaard voor personal computers van allerlei merken is geworden. Daar staat tegenover dat MSX als standaard bedoeld is, maar door de verouderde techniek, een steeds kleiner deel van de markt bereikt. De meeste konsumenten kopen nu al een 16-bits systeem. In de besturingstechniek kunnen overigens met zo'n 8-bits MSX-computer prima resultaten bereikt worden.

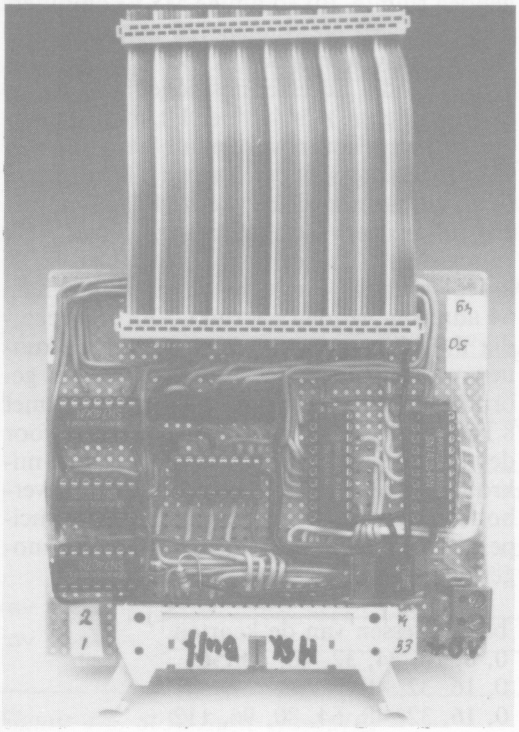
Alhoewel de MSX-buffer funktioneel hetzelfde doet als de universele buffer is de schakeling toch met heel wat minder onderdelen opgebouwd. De basisadressering bestaat uit A7 en in bepaalde gevallen ook nog A6. Samen met −IORQ levert dat via de OF-poort met drie ingangen die IC4A..D vormen het −Bus-gekozen signaal. Een eigenaardigheid ten opzichte van de universele buffer is het feit dat sommige MSX-computers vanuit de uitbreidingsschakeling een −Busdir-signaal moeten ontvangen tijdens een I/O-leesaktie. Daarvoor zorgt het circuit rondom IC5.
De adressering is beperkt tot de adreslijnen A0 t/m A7. In MSX-Basic kan met In en Out slechts tot en met I/O-adres 255d gewerkt worden. Aangezien er ook al andere I/O in de MSX-computer zit zoals een parallel printerpoort, joystickinterface en eventueel een seriële poort, kunnen die adressen niet allemaal gebruikt worden. Dat heeft dus tot gevolg dat de 256 adressen van het Mikrosysteem ook niet allemaal gebruikt kunnen worden. Met de 64 adressen die wel beschikbaar zijn bestaat voor de meeste toepassingen genoeg ruimte. Bij sommige MSX-computers is A6 wel vrij en kunnen 128 adressen voor het Mikrosysteem gebruikt worden. Om uit verschillende adresseringsmogelijkheden te kunnen kiezen zijn jumper 1 t/m 11 aanwezig. Er kan gekozen worden uit 8 kaarten met 16 registeradressen per kaart (128 adressen) of 64 adressen met naar keuze 8 kaarten met elk 8 registers of 4 kaarten met elk 16 registers. Als het systeem met elke MSX moet kunnen werken mogen maximaal 64 adressen worden gebruikt. Om zo veelzijdig mogelijk met het Mikrosysteem te kunnen werken het beste 8 kaarten worden gebruikt. Dus de keuze voor 64 adressen met 8 kaarten met elk 8 registers is de meest voor de hand liggende. Registerkeuze 4 van de mikrobus moet altijd met de aarde worden verbonden, omdat ongebruikte lijnen in principe niet in een ongedefinieerde toestand mogen verkeren.

adresbereik	jumpers	basisadressen van de kaarten
64 = 8 x 8	1, 3, 5, 7, 10	0, 8, 16, 24, 32, 40, 48 ,56
64 = 4 x 16	2, 4, 6, 9, 10	0, 16, 32, 48
128 = 8 x 16	2, 4, 6, 8, 11	0, 16, 32, 48, 64, 80, 96, 112

Voor de databusbuffering zorgt IC1, een 74HCT645 buffer. De kontrolesignalen worden grotendeels met een 74HCT645 gebufferd. Alleen de –Strobe, –INTerruptlijn en de –Resetlijn worden met een 7407 niet-inverterende buffer/driver gebufferd. Jumper 12 en 13 maken het mogelijk om te kiezen of de kaartkeuzesignalen al dan niet verschijnen als M1 aktief is. Dit is van belang voor het werken met Z80 periferie-IC's en interruptgestuurde programma's. Voor algemeen Mikrosysteemgebruik moet jumper 12 gesloten zijn. Het Mikrosysteem wordt dan niet aangesproken als door de Z80 CPU een interruptvektor wordt opgevraagd.

In het voorgaande is al gerept over het –Busdir-signaal. Dit signaal moet door de busbuffer opgewekt worden als de bus gekozen is voor een I/O-leesaktie of als –M1 en –IORQ tegelijk aktief zijn voor het ophalen van een interruptvektor, wat eigenlijk een speciale leesaktie is. Daarvoor zorgen de drie NOR-poorten van IC5.

adresbereik	jumpers
64 = 8 x 8	1, 3, 5, 7, 10
64 = 4 x 16	2, 4, 6, 9, 10
128 = 8 x 16	2, 4, 6, 8, 11



Programmavoorbeeld:
Lezen van kaart 0 register 0: X = INP(0)
Schrijven van X naar kaart 0 register 0: OUT 0,X

Aansluiten
De MSX-busbuffer wordt via een korte bandkabel op de bus aansluiting van een MSX-computer aangesloten. In veel gevallen is daar een speciale aansluiting met een zogenaamde header voor gemaakt. Als die niet aanwezig is, moet een dubbelzijdige verloopprint die in een cartridgeslot past worden gemaakt.

Programmeren
In MSX-Basic worden de instrukties IN en OUT voor het werken met de 256 I/O-adressen gebruikt. MSX-Basic kan niet via de interruptlijn aangesproken worden. De joystickpoort kan wel gebruikt worden als interruptingang onder Basic. Zie de Basic handleiding bij de computer die gebruikt wordt. De adressen van de kaarten en de rebasisadressen van de kaarten

kaartadres = kaartnummer x 8
kaartadres = kaartnummer x 16
kaartadres = kaartnummer x 16

gisters zijn eenvoudig uit te rekenen omdat het Mikrosysteem een aaneengesloten blok adressen vanaf adres 0d beslaat. Het hangt wel af van de instelling van de jumpers 1 tot en met 11.

Berekenen registeradres:
adres = kaartadres + registernummer.

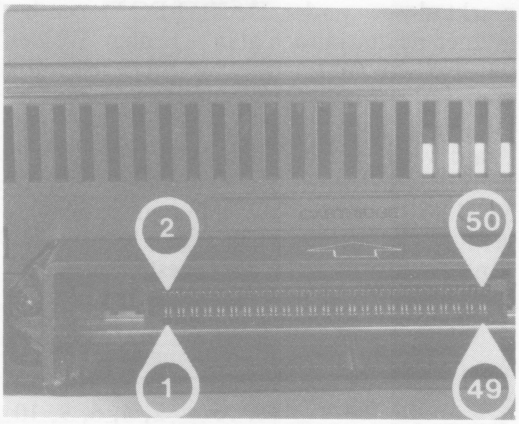
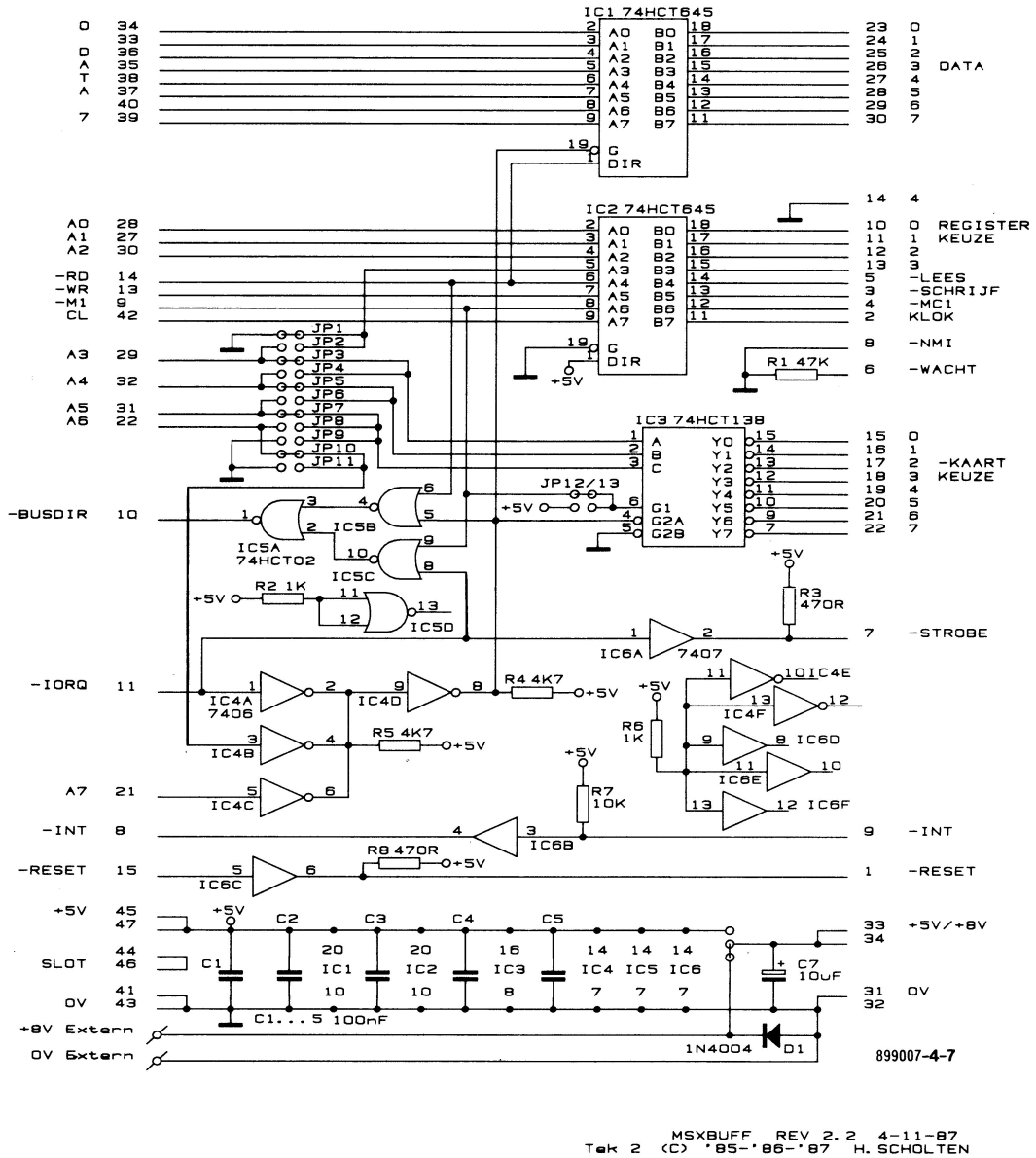


Foto 5. MSX-bus



Figuur 4-7. MSX-busbuffer

4.4 IBM-PC (-XT & -AT) busbuffer

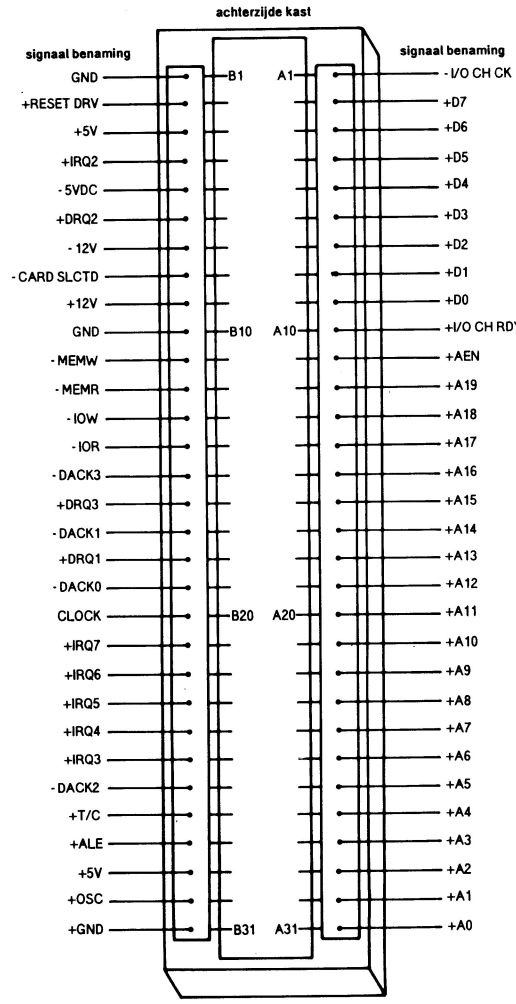
Op 12 Augustus 1981 kondigde de IBM-ontwikkelingsdivisie in Boca Raton USA de IBM-PC aan. De computer was het resultaat van 13 maanden werk van een kleine enthousiaste groep mensen. Het operating systeem was gekocht van Microsoft. Die eerste PC heeft nog kenmerken uit een heel ander computertijdperk. Dat is bijvoorbeeld te zien aan de cassetterecorder-aansluiting voor data-opslag. Iets wat nu niemand meer met een PC associeert. De IBM-PC is echter niet afkomstig uit het vorige tijdperk, maar meer de

verantwoordelijke voor de overgang naar het volgende computertijdperk. Tot de komst van de Personal Computer werkten hobbyisten met huiscomputers en professionals met mini's en main-frames. De PC-familie wordt nu door beide groepen gebruikt. Op 18 januari 1983 werd de IBM-PC ook in Nederland aangekondigd. Dat is dus anderhalf jaar later! Er waren toen wel drie produktiviteitsprogramma's beschikbaar: Visi-Calc, Multiplan en Easywriter. IBM heeft ook nog een kleine uitvoering van de PC, de PC-junior uitgebracht. Maar deze was door gebrek aan sukses geen lang leven beschoren. De PC is ook al weer opgevolgd door de PC-XT en de PC-AT. De XT is een uitgebreide PC waar bijvoorbeeld geen cassettepoort meer op zit. De AT maakt gebruik van de 80286 CPU en is daardoor veel krachtiger dan de PC of XT. De bus van de AT is een uitgebreide PC-bus. De Personal System Two serie omvat computers met een 8088, 80286 of 80386 CPU, ze gebruiken 3½'' diskettes. De PS/2 serie is gebouwd rondom de Microchannel-bus en werkt onder het OS/2 operating systeem. Er zijn nu echter ook IBM PS/2 systemen die met een AT-bus zijn uitgerust.
Een van de belangrijkste eigenschappen van de PC is dat het een goed gestruktureerde modulaire computer is, waarvan de fabrikant uitgebreide dokumentatie beschikbaar heeft gesteld. Met name de keuze voor een losse videokaart blijkt een gouden greep te zijn geweest. Daardoor kan van CGA naar EGA en verder worden doorgegroeid. Voor de serieuze werker met de PC zijn de IBM technical reference boeken een zeer komplete bron van informatie. Deze boeken zijn zelfs mede een reden voor het sukses van de computer.

4.4.1 De IBM-PC-bus

De IBM-PC en PC-XT zijn gebouwd rondom de 8088-CPU. Sommige op de PC gelijkende computers zoals de Amstrad-PC, zijn met de 8086 gemaakt. Deze CPU's zijn zo gemaakt dat ze ook goed met 8-bits periferie-IC's kunnen werken. Het Mikrosysteem wordt op de PC aangesloten als een 8-bits randschakeling.Op de hoofdprint van de IBM-PC vinden we twee bussen, de lokale processorbus en de PC-systeembus. Op de lokale processorbus worden de 8288 Buscontroller, het 8284 Timing-IC, de 8259 Interrupt handling, de 8087 Co-Processor en een busbuffer aangesloten. Via de busbuffer, die uit 3 stuks 74LS373 8-bits latches, een LS244 buffer en een LS245 bi-direktionele buffer bestaat, wordt de PC-systeembus van de externe sleuven (slots) aangestuurd. De interne busbuffer zorgt ervoor dat uit de gemultiplexte adres/datalijnen, stabiele adressen ontstaan. Een 8288 buscontroller verzorgt de kontrolesignalen op de PC-bus, het heet dat de CPU in maximum mode werkt. Daarbij worden de Statussignalen S0, S1 en S2 evenals CEN (Command ENable) en AEN (Address ENable) samen met de klok door de 8288 tot de kontrolesignalen op de bus verwerkt.

Op de slots van de externe PC-bus zien we de volgende signalen:



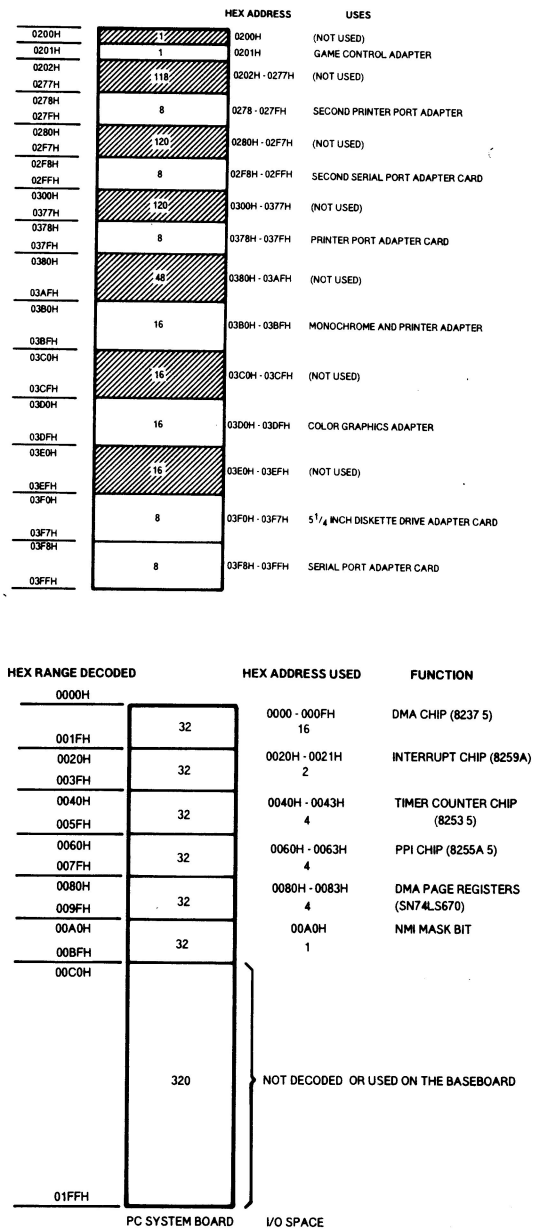
Figuur 4-X6.

4.4.2 De AT-bus

De AT-bus is een uitgebreide PC-bus. De extra signalen zijn via een extra bus konnektor bereikbaar. In alle AT-slots kunnen de kaarten voor de PC-bus gestoken worden. De extra lijnen blijven dan gewoon onbenut. Ook de Mikrosysteem busbuffer voor de PC kan zonder aanpassing in een AT gebruikt worden. Aangezien de AT een snelle computer is, kan het wel nodig zijn om de timing van de I/O-aktie aan te passen. Als de AT zelf geen wachtcyclussen tijdens de I/O-aktie toevoegd, kan dat met de hierna besproken wachtcyclusgenerator gebeuren.
Er bestaat een duidelijk verschil tussen de afhandeling van IRQ2 bij een AT- en een XT-computer.

4.4.3 De busbuffer

Bovenaan in het schema (figuur 4-8) is het basisadresseringsblok rondom een 74HCT688 (IC1) te zien. Daarbij valt op dat het basisadres juist niet met de hoogste adreslijnen bepaald wordt. De IBM-PC adressering zit zo in elkaar dat met adreslijn A9 wordt aangegeven of er I/O op de hoofdprint of I/O op de PC-bus wordt aangesproken. Op de standaard PC-kaarten worden de adreslijnen A10..A15 niet bij de adressering betrokken. Met die adreslijnen kan dus geen unieke adressering bereikt worden. Daarom wordt met A3 tot en met A8 het adresgebied van het Mikrosysteem gekozen. Er moet daarbij goed opgelet worden om een vrij stukje te vinden. Het adresgebied van 300h tot en met 31Fh is voor prototype kaarten beschikbaar, maar er bestaan diverse PC-kaarten die daar gebruik van maken. Toch heeft dit gebied, indien nog niet bezet, de voorkeur. Zie ook de hierbij afgebeelde I/O-adrestabel (4-X7). De onderste drie vrije adreslijnen A0, A1 en A2 worden gebruikt voor het aansturen van de Registerkeuzesignalen R0, R1 en R2. De –Kaartkeuzesignalen worden via een 74HCT138 vanuit A10, A11 en A12 gemaakt. A13 en A14 worden gebruikt als Registerkeuze 3 en 4. Op die manier ontstaat een I/O-gebied waarvan de adressering in blokken verloopt. Het lijkt ingewikkeld, maar het valt wel mee. De kaartadressen bestaan uit het met de dilschakelaar ingestelde basisadres plus 1024 keer het kaartnummer. Op deze manier werken overigens ook de kaarten waarmee bijvoorbeeld meer dan twee seriële kanalen op de PC worden aangesloten, (COM3..16, etc.). Als het basisadres zo is ingesteld dat schakelaar 1 t/m 5 gesloten zijn en 6 open is, dan is het basisadres 300h = 768d. Let daarbij op dat een gesloten schakelaar voor een lage lijn staat en andersom.



Figuur 4-X7. I/O-adrestabel

De adressen van de kaarten zijn dan:
Adres van Kaart X = 768+(1024·X).
De register lijnen worden met de volgende waarden aangestuurd:
1, 2, 4, 8192 en 16384.

De buffering van de datalijnen werkt gelijk aan de universele busbuffer.
Een strobesignaal ontbreekt op de PC-bus. Het –Strobesignaal op de mikrobus wordt met IC5A vanuit het –Rd en –Wr signaal gemaakt. Dit signaal levert samen met het 'basisadres-gekozen' signaal van IC1 pin 19, via poort IC5B het –Buskeuzesignaal op. Met dit signaal worden IC2, 3 en 4 op de busbuffer aangestuurd. De timinginformatie wordt dus ook in de –Kaartkeuzesignalen verwerkt.

De I/OCHRDY-ingang wordt gebruikt om wachtcyclussen in de I/O-operatie in te zetten. Daarmee wordt de schrijf- of leespuls verlengd zodat een snelle computer toch met langzame periferie gebruikt kan worden. Deze lijn van de PC-bus wordt met een open-kollektor uitgang aangestuurd. Aangezien er niet altijd gebruik van de extra wachtcyclussen gemaakt hoeft te worden, is dat als een uitbreiding van de busbuffer opgenomen. Zie hierna 4.4.5, wachtcyclus-generator. Normaal gesproken moet jumper 9 dus gesloten zijn. Vergeet hem niet te openen als de wachtcyclus-generator wordt aangesloten, anders gaat het IC aan de uitgang daarvan stuk.
Op de basiskaarten wordt het kloksignaal niet gebruikt, om ruis op de bus te beperken kan jumper 8 daarom beter open blijven

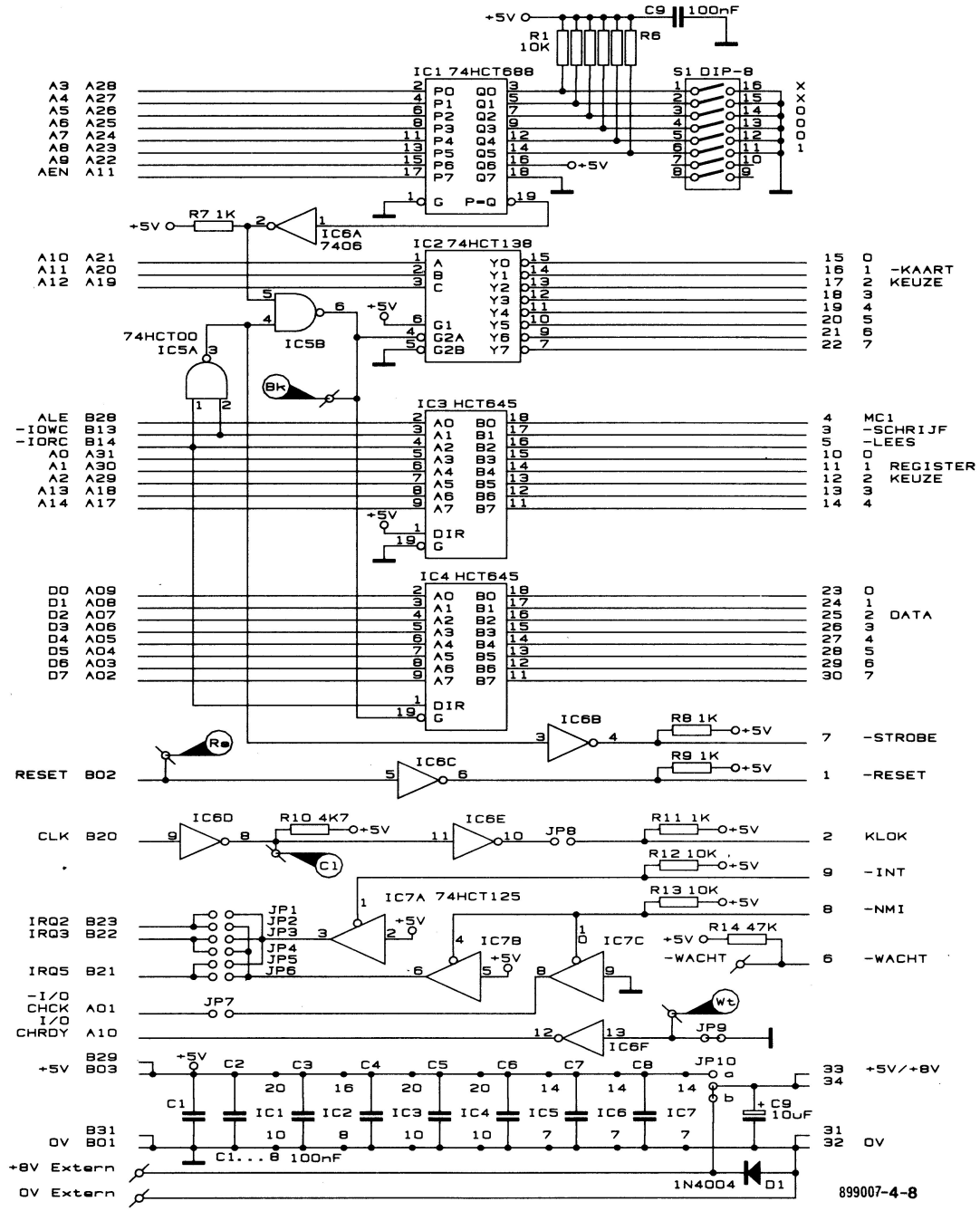
De interruptingangen van de PC worden met een buffer met een zogenaamde Tri-State of hoog-impedante uitgang aangestuurd, de 74HCT125. Als het poortsignaal op pin 1, 4 of 10 laag wordt, dan neemt de uitgang de toestand aan die op de ingang pin 2, 5 en 9 staat. Als de poortingang hoog is, bevindt de uitgang zich in hoog-impedante toestand. We kunnen op die manier meerdere signaalbronnen op een lijn aansluiten. Er mag er echter maar één tegelijk aktief zijn. Het speciale van de 74HCT125 is dus dat het niveau van de uitgang bepaald wordt door de poort en door het ingangsniveau. De PC-businganag –I/OCHCK kan door meerdere randapparaten tegelijk aangestuurd worden, dus een open-kollektor aansturing zou op zijn plaats zijn. Maar aangezien een hoog niveau zich nu eenmaal niet met de open-kollektor truuk laat oplossen is de hoog-impedante buffer hier dus de goede oplossing. Bij de interruptlijnen moeten we door een juist instellen van de jumpers JP1..7 voorkomen dat er meerdere randapparaten op één interruptlijn zijn aangesloten. Anders zou de PC niet kunnen weten waar de 'oproep' vandaan komt.

4.4.4 Gebruik van de interrupts

De IBM-PC beschikt intern over een 8259 interrupt afhandelings-IC. Dit IC heeft acht ingangen, waarmee acht interrupt niveau's aan de CPU kunnen worden doorgegeven. Vier daarvan zijn altijd al in gebruik voor de systeemtimer, het toetsenbord, de seriële interface en de diskdrive. Deze worden door de BIOS gebruikt en liggen daarom vast. Voor drie andere bestaat een aanbevolen gebruik: harddisk, parallel printerpoort en tweede seriële interface. Er blijft dan nog één vrije interruptingang over, IRQ2. Deze wordt dus bij voorkeur voor het Mikrosysteem gebruikt. Daarbij bestaat er een verschil tussen de AT- en XT-computer. Buslijn B4 is bij de XT met de interruptingang 2 van de PIC8259 verbonden. Bij een AT is de uitgang van de tweede interrupt controller met deze ingang 2 verbonden. Buslijn B4 is bij een AT verbonden met ingang 1 van die tweede interrupt controller. Deze lijn heet dan IRQ9. De real time clock is bij de AT verbonden met ingang 0 van de tweede PIC. Deze lijn heet dus IRQ8. Dit alles heeft dus belangrijke gevolgen voor interrupt gedreven programma's.
De –NMI-lijn van de mikrobus kan naar keuze met een tweede vrije interruptingang, bijvoorbeeld IRQ3, of met –I/OCHCK verbonden worden. Dat laatste is echter geen standaardoplossing. Als –I/OCHCK laag wordt gemaakt, stopt de computer met de mededeling, parity error. Dit is dus een echte noodrem.

Het gebruik van de interruptlijnen:
NMI pariteit, is verbonden met –I/OCHCK.
IRQ0 systeemtimer = uitgang on-board timer 8253, kanaal 0.
IRQ1 toetsenbord.
IRQ2 gereserveerd (let op! verschil tussen XT en AT).

IRQ3 vrij (*tweede seriële kanaal / synchroon of asynchroon).
IRQ4 RS232 seriële interface / SDLC synchroon serieel.
IRQ5 vrij (*hard disk).
IRQ6 diskdrive.
IRQ7 vrij (*parallel printerpoort).



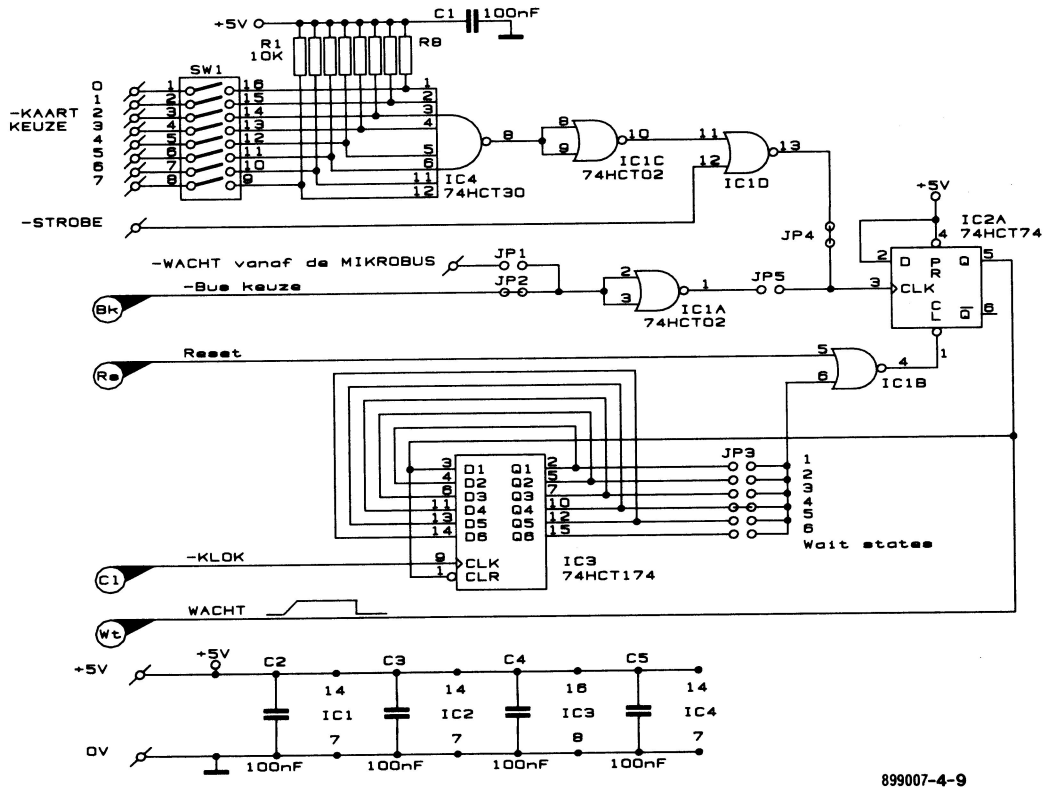
Figuur 4-8. IBM busbuffer

4.4.5 Wachtcyclusgenerator

Dit is een uitbreiding van de IBM-busbufferschakeling. De wachtcyclusgenerator zorgt ervoor dat langzame periferie toch met een snelle CPU kan werken. De meeste kaarten zullen zonder deze uitbreiding uitstekend met de PC en een busbuffer werken. Pas als een snelle PC met langzame periferie moet werken gaat het mis. Dan moet deze schakeling gebruikt worden. Dit is met name het geval bij gebruik van 6800-periferie-IC's. In de praktijk blijkt een 6821 echter zonder wachtcyclusgenerator met een 8 MHz-PC-XT te werken.

De werking van de wachtcyclusgenerator is heel eenvoudig. De lees- of schrijfpuls wordt verlengd. Als de I/O-aktie begint wordt de I/OCHRDY-lijn gedurende een aantal klokcyclussen laag gemaakt. Dat mag niet te lang duren want anders verliest het dynamische RAM zijn inhoud.

Het schema bestaat uit twee delen. In de eerste plaats de echte wachtcyclusgenerator. Deze bestaat uit een 74HCT74 D-type flipflop, een HCT174 die als deler wordt gebruikt en een HCT02 viervoudige nand. De vier signalen tussen deze schakeling en de PC-busbuffer worden via vier speciale punten op de busbuffer overgedragen. Op punt Bk staat een signaal dat aangeeft dat het Mikrosysteem is gekozen. Rs is het resetsignaal, dit zorgt voor een goede start. Cl is de klok en Wt is het uiteindelijke wachtsignaal. Als een adres binnen het gebied van het Mikrosysteem wordt gekozen zal Bk laag worden. Via inverter IC1A en jumper 5 wordt de flipflop op de stijgende voorflank gestart, de Q-uitgang wordt nu hoog. Via de inverter op de busbuffer wordt de I/OCHRDY lijn van de PC-bus laag gemaakt. De HCT174 '-teller' begint nu ook te lopen. Na het met de 'wait states' jumper ingestelde aantal klokcyclussen wordt de flipflop gereset, de Q-uitgang wordt weer inaktief. De PC gaat weer verder. Als er alleen maar voor bepaalde kaarten met een extra lange lees- of schrijf-puls gewerkt



Figuur 4-9. IBM wachtcyclusgenerator

moet worden kan de schakeling rondom IC4 en IC1A&D worden toegevoegd en via jumper 4 aangesloten. Deze schakeling komt in de plaats van de Bk-aansluiting en jumper 5 wordt dus verwijderd. Met dipswitch SW1 kan dan ingesteld worden voor welke kaarten wachtcyclussen ingelast moeten worden. De –Kaartkeuze en –Strobesignalen moeten gewoon vanaf de mikrobus komen.

4.5 Atari ST-busbuffer

De buffer voor de Atari SixteenThirtytwo is een speciaal geval. De ST heeft geen bus aansluiting, we vinden slechts een parallel printer poort, een serieel kanaal, een midi kanaal, een SCSI (Small Computer System Interface) -achtige, snelle parallelle interface en een ROM-poort. Ze zijn geen van alle echt geschikt om het Mikrosysteem aan te sluiten. Zeker niet als de standaard randapparatuur gewoon gebruikt moet kunnen worden. De printerpoort kan als een 8-bits invoer- en uitvoerpoort worden gebruikt. Dat is alleen geschikt voor één interface schakeling en onhandig omdat de printer dan niet gebruikt kan worden. De ACSI (Atari Computer System Interface) -poort, die ook wel DMA-kanaal genoemd wordt, kan wel goed voor invoer-/uitvoerwerk gebruikt worden. Maar daar is een uitgebreide schakeling voor nodig en dan komt nog het programmeren van de ACSI-poort. Het is dan misschien zelfs wel beter om het Mikrosysteem op bijvoorbeeld een 8052-controller aan te sluiten. Dan kan de ST via het seriële kanaal als terminal gebruikt worden. De gegevens kunnen met de ST verwerkt en gepresenteerd worden. Het programma voor de 8052 kan ook met een editor op de ST geschreven worden en daarna met een terminalprogramma naar de 8052 verzonden worden. Een bijkomend voordeel is dat het 8052-mikrobussysteem 24 uur per dag kan werken, terwijl de ST ook voor ander werk beschikbaar is. Ondanks het ontbreken van een busaansluiting op de ST is er in de praktijk toch een soort standaard voor het aansluiten van invoer- en uitvoerschakelingen gegroeid. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de ROM-poort met zijn grote adresruimte. Een echte busaansluiting vraagt om ingrepen in de computer en dat valt buiten het bestek van dit boek.

De cartridgepoort

De cartridgepoort is bedoeld voor het aansluiten van programma's in ROM. Deze poort is uitstekend als invoer te gebruiken, maar Atari heeft in de computer ingebakken dat er niet naar de cartridgepoort geschreven kan worden. In het volgende verhaal wordt uitgelegd hoe er toch data via de ROM-poort geschreven kan worden. Van de totaal 16 megabyte adresruimte van de ST is 128K voor de cartridgepoort gereserveerd. Deze adresruimte is in twee delen van elk 64k opgesplitst, het signaal –Rom 3 of –Rom 4 wordt laag als een adres binnen het bijbehorende bereik van 64kB adressen aangesproken wordt. Bij de busbuffer worden deze beide signalen gebruikt om aan te geven of er gelezen of geschreven moet worden. Als een adres van FA0000h (16384000d) tot en met FAFFFFh wordt aangesproken wordt –Rom 4 (pin 33) laag, –Rom 3 (pin 31) is laag voor adressen tussen FB0000h (16449536d) en FBFFFFh. Daarnaast zijn er nog 15 adreslijnen beschikbaar. Daarvan worden er 7 voor de adressering binnen het Mikrosysteem gebruikt, zodat 128 adressen bereikt kunnen worden. Van de andere acht adreslijnen kan tijdens het lezen het niveau bepaald worden! Hier wordt de data die geschreven moet worden op gezet. De te schrijven data wordt dus tijdens een leesaktie binnen het gebied van Rom 3 als een adres op de lijnen A1 t/m A8 gezet. Het HCT374 buffer IC(IC2) zal het signaal op de datalijnen van het Mikrosysteem zetten. Het valt op dat adreslijn 0 niet aanwezig is. Dat is een eigenschap van de 68000-CPU. Het hangt samen met het feit dat de ST een zestien bits databus kent, terwijl het geheugen in bytes georganiseerd is. Met A0 wordt tussen het lower en upper byte gekozen. Daarvoor zijn de signalen UDS Upper Data Strobe en LDS Lower Data Strobe op de cartridge poort aanwezig, bij het Mikrosysteem worden deze signalen niet gebruikt. Aangezien het Mikrosysteem een 8-bits systeem is, kunnen de 8 datalijnen op één van beide ''bytes'' worden ''aangesloten''. Het ligt voor de hand om het Mikrosysteem op de databits 0..7 aan te sluiten, dus het Lower Data Byte. Daarom moet het lezen vanuit het Mikrosysteem altijd vanaf de oneven adressen gebeuren. Op de even adressen staat normaal gesproken het Upper Data Byte. Op de even adressen binnen het adresge-

bied voor het Mikrosysteem staat geen geldige data. Het lezen gaat dus met een gewone leesaktie waarbij het basisadres van Rom 4 plus de adreslijnen 9 tot en met 15 bepalen welk register op welke kaart wordt aangesproken. Bij het op die manier uitgerekende adres moet dus nog één opgeteld worden vanwege de oneven adressen voor het lage byte. Het schrijven van data moet met een leesaktie gebeuren. Daarbij moet de data op de adreslijnen A1..8 gezet worden. Daarvoor wordt de te schrijven waarde met twee vermenigvuldigd, dit heet ook wel één bit naar links opschuiven. Met A13, A14 en A15 worden de –Kaartkeuzesignalen opgewekt, de afstand tussen de kaarten is dus 2^{13} = 8192d. De adreslijnen negen tot en met twaalf leveren de Registerkeuzesignalen, de afstand tussen de registers is dus 512d.
De beide signalen –Rom 3 en –Rom 4 zijn van timinginformatie voorzien, via EN-poort IC6A leveren ze het –Strobesignaal op. De signalen –Lees, –Schrijf en –Strobe zijn de enige kontrolesignalen die vanaf de ST op de mikrobus komen. Aangezien een –Resetsignaal echt niet mag ontbreken wordt dat van de voeding op de mikrobus afgeleid. De andere kontrolesignalen van de mikrobus ontbreken dus. Er kan via een omweg met interrupts worden gewerkt. De Ring Indicator-ingang op pin 22 van de RS232 poort kan een interrupt met de hoogste prioriteit veroorzaken. Let er wel op dat het aansturingsniveau geschikt voor RS232 moet zijn, $V_{in} < -3V$ of $V_{in} > +3V$.
Ondanks of juist wegens de afwijkende adresseringsmethode demonstreert de ST-buffer hoe invoer- en uitvoerwerk kan worden gedaan met een minimum aan kontrolesignalen.

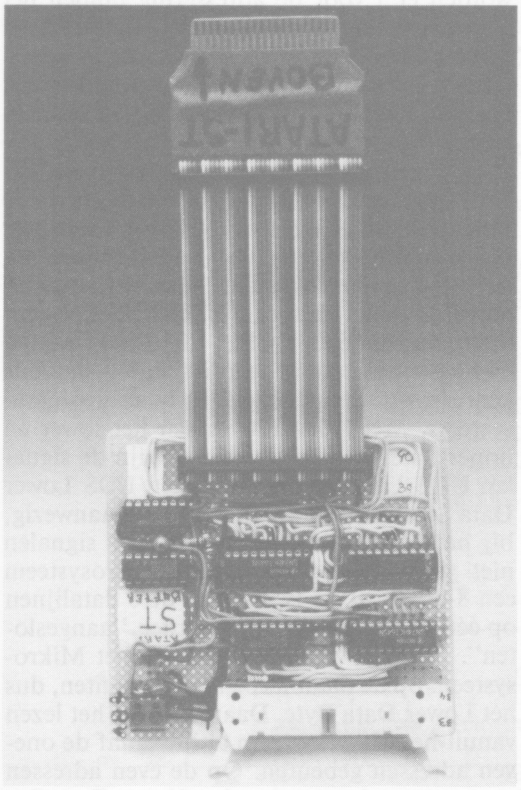


Foto 6. Het prototype van de Atari ST-busbuffer

Programma
Het schrijven van een programma is niet zo voor de hand liggend als bij de andere computers. In de eerste plaats moet natuurlijk rekening worden gehouden met het schrijven en lezen via de –Rom3- en –Rom4-konstruktie. Maar ook het lezen vanaf de oneven adressen en het schrijven naar A1..8 vragen in het begin enige aandacht. De voorbeelden zijn in GfA-Basic geschreven.

Lees:
Bij het lezen moet er aan gedacht worden dat de data op de oneven adressen staat.
Het adres om te lezen:
–Rom 4 + Kaartkeuze + Registerkeuze + 1

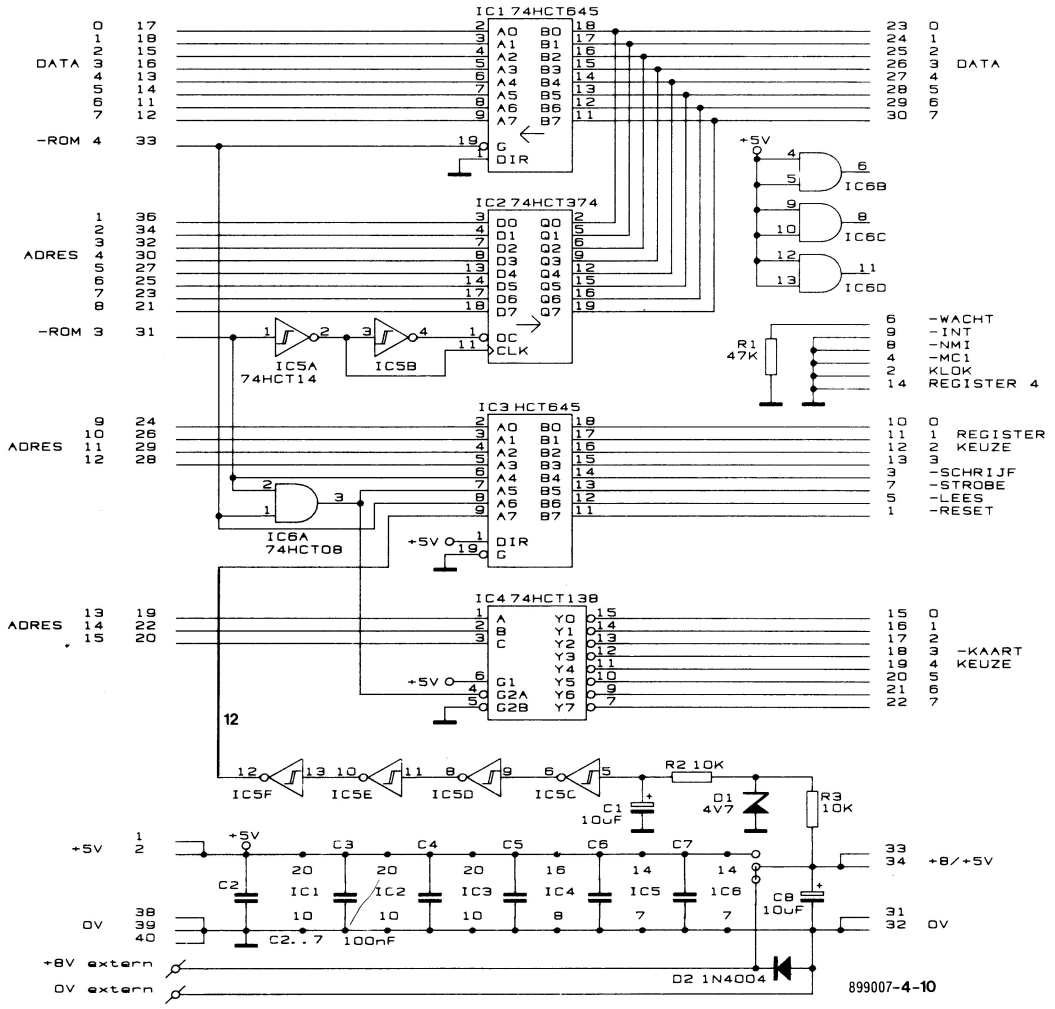
Programmavoorbeeld:
```
Lees=&HFA0000  (of Lees=16384000)
Kaart=8192
Register=512
Input''Kaartnummer  '';K
Input''Registernummer  '';R

Adres=Lees+K*Kaart+R*Register+1
X=Peek(Adres)
Print X
```

Schrijf:
Bij het schrijven moet de data eerst met twee vermenigvuldigd worden omdat het op adreslijn 1 t/m 8 gezet moet worden. Dan moet dit bij het te bereiken adres opgeteld worden. Daarna moet er vanaf het uitgerekende adres gelezen worden. Uiteraard is de gelezen waarde onbelangrijk. De vorm waarin de peek opdracht staat is een manier om te voldoen aan de vereiste syntax van de Peek instruktie.

Het adres om te schrijven is:
– Rom 3 + Kaartkeuze + Registerkeuze + Data • 2

Programmavoorbeeld:
Schr=&HFB0000 (of Schrijf=16449536)
Krt=8192
Reg=512
Input"Kaartnummer ";K
Input"Register nummer ";R
Input "Data om te schrijven 0..255 ";D
Adres=Schr+K*Krt+R*Reg+2*D
Z=Peek(Adres)

De konnektor
Dat is een 40-polige card-edge konnektor die op de print zit. Jammer genoeg is de rastermaat van 2 mm niet standaard zodat er een dubbelzijdige print voor gemaakt moet worden. De aansluitingen zijn rechtstreeks met de CPU verbonden. De aansluiting mag dan ook geen te grote kapacitieve belasting vormen. Let er ook op *dat er nooit een konnektor ingestoken of uitgehaald wordt als er spanning op de Atari ST staat.* De busbuffer wordt vanaf de ST gevoed zodat deze IC's ook nooit onder spanning staan als de ST niet aan staat.



Figuur 4-10. Schema van de Atari ST-busbuffer

5. De Basiskaarten

In de nu volgende paragrafen worden de kaarten behandeld, die de verbinding tussen computer en buitenwereld tot stand moeten gaan brengen. De omvang van dit hoofdstuk rechtvaardigd een beknopte inhoudsopgave:

1 Aansluiten van een I/O-poort
2 Programmeerbare IC's
3 8080 periferie-IC's
4 6800 periferie-IC's
5 Andere periferie-IC's
6 De basiskaarten
7a HCT 645 Parallel in, 8-Bits.
7b HCT 374 Parallel uit, 8-Bits.
8 PIA 6821 Parallel I/O, 16 I/O-kanalen + 4 handshake.
9 PPI 8255 Parallel interface, 24 I/O-kanalen.
10 PIT 8253 Timer/teller, 3 tellers van elk 16 bits.
11 Analoge in- en uitgang in het algemeen.
12 ADC 0808 Analoog/Digitaal-konverter, 8 kanalen 100uS.
13 ZN 427 Analoog/Digitaal-konverter, 1 kanaal 10uS.
14 DAC 08 Digitaal/Analoog-konverter, 1 kanaal 100nS.
15 ZN 426 Digitaal/Analoog-konverter, 1 kanaal 1uS.
16 ACIA 6850 Asynchrone seriële-IF, onafhankelijke Tx/Rx.
17 ICM 7170 Real Time Clock, met battery back-up.
18 PIC 8259 Programmable Interrupt Controller, 8 kanalen.

5.1 Het aansluiten van een I/O-poort

In de eerste plaats worden uiteraard de acht datalijnen van de randschakeling met die van de mikrobus verbonden. Daarna moet er nog voor gezorgd worden dat er ook data over die aansluiting getransporteerd gaat worden. In het voorgaande is de funktie uitgelegd van de daarvoor benodigde signalen; adres, richting en timing. Dankzij de –kaartkeuzesignalen op de busbuffer, kan de adresdekodering op de kaarten eenvoudig blijven. Bij de TTL-parallelpoort is dat duidelijk te zien. Er moet daar voor gezorgd worden dat er een lees- of schrijfpuls uit de bekende drie I/O-signalen, kaartkeuze (adres), timing en richting samengesteld wordt. Dat gebeurd met een paar OF-poorten. Bij de meeste programmeerbare IC's zijn er verschillende ingangen voor adres, richting en timing aanwezig. Ze komen ook als gekombineerde ingangen voor. Bij de diverse basiskaarten is te zien hoe de kontrolesignaal-behandeling in zijn werk gaat.

De interruptuitgangen van de kaarten worden via jumpers eventueel verbonden met de bus. Zo kan bij een programma dat niet met interrupts werkt voorkomen worden dat er ongewenste interrupts optreden. In principe moeten de jumpers dus alleen gesloten worden als er ook echt met interrupts in het programma gewerkt wordt. De jumpers moeten ook open zijn als de interruptuitgangen met de programmeerbare interrupt controller-basiskaart worden verbonden.

Er zijn maar een paar basiskaarten die op –Reset aangesloten moeten worden, maar deze kaarten hebben het signaal dan ook echt nodig. De kontrolelijnen Klok, –MC1 en –Wacht worden niet op de basiskaarten gebruikt.

5.2 Programmeerbare IC's

Voor vrijwel alle invoer- en uitvoerfunkties bestaan speciale zogenaamde L.S.I (Large Scale Integration) IC's. De bekendste hebben funkties voor programmeerbare parallel-I/O, seriële I/O, programmeerbare timer/teller, 24 uurs klok, analoog-digitaal en digitaal-analoog omzetting. Elke processorfamilie beschikt over een serie periferie-IC's die een aantal van deze funkties uitvoeren. Gelijksoortige IC's verschillen per familie nogal sterk. Bijvoorbeeld de parallelpoorten, de seriële poorten en de timer/tellers van de diverse families hebben zeer verschillende eigenschappen. Meestal gebruikt men periferie-IC's met de CPU van dezelfde familie. Maar soms worden juist funkties verlangd die het periferie-IC uit de "eigen" familie niet kan bieden en een andere wel. Daar komt bij dat het bekend zijn met een IC ook een belangrijke reden is om zo'n IC zo veel mogelijk te gebruiken. De Mikrosysteem-basiskaarten laten zien dat met een paar periferie-IC's, met alle veel gebruikte CPU's kan worden gewerkt en vrijwel alle denkbare funkties vervuld kunnen worden. Daarvoor moet in principe alleen iets ingeleverd worden op het gebied van de interruptafhandeling, die vaak heel familie-specifiek is. De PIC 8259 interrupt controllerkaart zorgt ervoor dat er binnen het Mikrosysteem toch efficiënt met meerdere interruptbronnen kan worden gewerkt. Een belangrijk punt bij de keuze van de periferie-IC's is dat de ze volkomen onafhankelijk van de CPU-klok moeten werken. Er mag geen verbinding met de CPU-klok nodig zijn voor de werking van het IC. Alle basiskaarten werken dan ook zonder het kloksignaal. Voor met name A/D-D/A en Real Time Clock worden allerlei niet CPU-familiegebonden IC's gemaakt. Deze IC's zijn door de fabrikant vaak zo gemaakt dat ze met de diverse CPU-families werken.
Het programmeerbaar zijn van deze IC's, wil zeggen dat vanuit het programma ingesteld wordt hoe de IC's funktioneren. Daardoor heb je meer mogelijkheden met dezelfde schakeling en/of kan je aktief ingrijpen in de aktie. Bij de 6821 programmeerbare parallelpoort kan bijvoorbeeld met het programma van elke lijn bepaald worden of die voor invoer- of uitvoer gebruikt wordt en er zijn ook handshake mogelijkheden. Zonder eerst een opdracht te hebben gekregen doen de meeste periferie-IC's niets. Sommige gaan na een reset altijd in een bepaalde basisinstelling staan (default), zodat er eventueel direkt data verwerkt kan worden. Het gebruik van een programmeerbaar IC lijkt veel ingewikkelder dan dat van een TTL-schakeling, toch valt dat mee. Gewoon beginnen en doen.

Via een *mode-woord* dat in een *kontroleregister* wordt geschreven, moet ingesteld worden hoe we het IC moet funktioneren. Een kontroleregister is een geheugenplaats in het periferie-IC waar de gegeven opdracht bewaard wordt. Elk bit heeft twee mogelijkheden voor een bepaalde funktie die door hem 0 of 1 te maken gekozen wordt. Soms moet een keuze met meerdere bits tegelijk gekodeerd worden bepaald. Het decimale getal voor de bitkombinatie kan bijvoorbeeld met een Basic OUT opdracht naar het kontroleregister geschreven worden. Dit kan natuurlijk in allerlei andere talen even goed. Bij de bespreking van de basiskaarten wordt uitvoerig op de werkwijzen ingegaan. De meeste programmeerbare IC's beschikken overigens niet over één, maar over meerdere kontroleregisters.
Uit de STATUS registers kan informatie over het funktioneren van het periferie-IC gelezen kan worden. Ook hier hebben bits of groepen bits een betekenis die met 0 of 1 gekozen wordt.
De DATA wordt vaak opgeslagen in een geheugenplaats dat dataregister heet. Daarin kan worden geschreven of er kan uit worden gelezen, al naar gelang de funktie van het dataregister. Dit vraagt ook niet meer dan een IN of OUT opdracht. Soms moet de werkwijze van het IC speciaal ingesteld worden om data te kunnen lezen. Dat gaat per periferie-IC anders.

Voor de standaardkaarten zijn uiteraard IC's uitgezocht die niet gebonden zijn aan een bepaalde CPU. Alhoewel de standaardkaarten in vrijwel alle denkbare toepassingen voorzien, kan er toch behoefte bestaan om andere periferie-IC's te gebruiken. Meestal gaat het dan om periferie-IC's die bij de gebruikte CPU horen en waarbij een flexibelere interruptafhandeling mogelijk is. Alhoewel de PIC 8259-kaart dat binnen het Mikrosysteem ook goed ondersteund. Het gebruik van interruptvektor-mogelijkheden bij een periferie-IC en CPU van dezelfde familie,

wordt ook door de mikrobus ondersteund. De signalen Klok en –MC1 zijn vooral hiervoor op de mikrobus aanwezig.

5.3 8080-periferie-IC's

De periferie-IC's uit de 8080-reeks zijn bekende IC's voor randschakelingen. Met name de 8253A timer/teller en 8255A parallel-interface worden veel toegepast. Van de drie hier besproken parallel-interfaces heeft de 8255A het grootste aantal I/O-lijnen met één IC. Met de PIT 8253A timer/teller zijn veel interessante meet- en regeltoepassingen te realiseren. Dit wordt in boek 2 besproken.

5.3.1 Aansluiten van 8080-periferie-IC's op de mikrobus

Voeding - via een 78L05 met de 0 V en +8 V op de bus verbinden.
Data - rechtstreeks met de datalijnen 0..7 verbinden.
–Read en –Write - voorzien van timinginformatie door –Lees en –Schrijf met –Strobe via een poort op de –Rd- en –Wr-ingangen van de 8080-periferie-IC's aan te sluiten.
–Chipselect - met een van de –Kaartkeuzesignalen verbinden. *Registerselect* - met de Registerkeuzesignalen verbinden. R0 met register 0, R1 met register 1, enz.
Reset - indien aanwezig geïnverteerd met mikrobus –Reset verbinden.
Interruptuitgang - indien aanwezig via een inverterende buffer met open-kollektor uitgang, met –INT of –NMI van de bus verbinden.

Als een klok-gebonden periferie-IC gebruikt wordt, mag –Rd of –Wr alleen aktief zijn als Cl2 ook laag is. Dit is vooral van belang bij gebruik van zo'n periferie-IC met bijvoorbeeld een 6502-CPU.

5.3.2 Eigenschappen

8255 PPI: Programmeerbaar parallel interface met 24 I/O-lijnen. Alle I/O-lijnen TTL-compatible, 3 hoofdmodes van werken.
8253 PIT: Programmeerbare Interval timer. Drie timers met elk een 16-bits tellerregister en 5 verschillende werkwijzen. Per kanaal is een Klokingang, een Poortingang en een Uitgang aanwezig.

8259 PIC: Programmeerbare interrupt controller. Dit IC kan worden gebruikt om de werking van een systeem te versoepelen. De 8259 kan 8 verschillende interrupt niveaus aan de CPU doorgeven. De prioriteit wordt door de 8259 afgehandeld.

8251 USART: Programmeerbare kommunikatie interface. Seriële interface voor synchrone en asynchrone datakommunikatie. Volgens de datasheets kan de 8251 onafhankelijk van de CPU-klok werken, zolang de CPU-klokfrekwentie minimaal 30 x groter is dan de hoogste kommunikatiesnelheid in Baud. De 8251 wordt in dit boek niet beschreven.

5.4 6800-periferie-IC's.

De periferie-IC's uit deze familie worden ook veel gebruikt. De 6821 wordt beschreven omdat de eigenschappen sterk van die van de 8255 verschillen. De 6821 is goed toepasbaar in testapparatuur. De 6850 is een simpel programmeerbaar asynchroon serieel kommunikatie-IC.

5.4.1 Aansluiten

Voeding - via een 78L05 met 0 V en +8 V van de bus verbinden.
Data - rechtstreeks met de datalijnen 0..7 verbinden.
Rd/–Wr - met –Schrijf verbinden.
Enable - wordt via een inverter met –Strobe verbonden.
–Chipselect - op een van de –Kaartkeuzesignalen aansluiten. Resterende –CS- en CS-ingangen kunnen aan 0 V resp. +5 V gelegd worden. Er kunnen ook meerdere IC's per kaartkeuzesignaal geadresseerd worden. Dat kan door per registersignaal een groep positief of negatief aktieve chipselect-ingangen (CS of –CS) aan te sluiten. Op die manier wordt hetzelfde effekt bereikt als met een multiplexer-IC.
Registerselect - deze ingangen moeten met een Registerkeuzelijn verbonden worden.
–IRQ - kan met de mikrobus –INT of –NMI verbonden worden.
–Reset - indien op het IC aanwezig moet met de –Reset van de bus verbonden worden.

5.4.2 Eigenschappen

6821: Parallel interface met 2 kanalen van 8-bits, die per bit voor invoer of uitvoer te pro-

grammeren zijn. Per kanaal een ingaande en een naar keuze in- of uitgaande handshake lijn. Eén kanaal is geschikt om transistoren aan te sturen, de andere om kleine relais te sturen. Als kanaal A zodanig belast wordt dat een hoog geprogrammeerde uitgang toch tot een laag niveau leidt, zal een leesaktie een laag niveau te zien geven. Kanaal B kan in hoog impedante toestand gebracht worden. Het IC is als bi-direktionele databus te gebruiken.

6850: Asynchrone seriële adapter met onafhankelijke zend- en ontvangsnelheid. Mogelijkheid om in synchrone mode tot 500 kBps te werken. Software instelbaar voor diverse dataformaten: 7 en 8 databits, even, oneven of geen pariteit, een of twee stopbits. Parity-, overrun- en framing error- kontrole. Twee binnenkomende (DCD en CTS) en één uitgaand handshake signaal (RTS).

6840: Timer, teller met drie onafhankelijke kanalen. De 6840 is afhankelijk van de CPU-klok en wordt dus niet op een basiskaart binnen het Mikrosysteem gebruikt.

5.5 Andere periferie-IC's

Diverse fabrikanten maken periferie-IC's die zo gemaakt zijn dat ze goed met de diverse CPU-families zijn te gebruiken. Met name de IC's die niet direkt nodig zijn om een computersysteem samen te stellen zoals analoog/digitaal en digitaal/analoog konverters, zijn vaak afkomstig van niet-CPU-familie gebonden fabrikanten. De meeste van die IC's beschikken over een adres-, timing- en richtingingang. Soms zijn er een adres en twee richting-/timingingangen. Deze IC's werken uiteraard ook altijd goed met het Mikrosysteem. Hier wordt niet verder op deze niet familiespecifieke periferie-IC's ingegaan, zie de bespreking van de basiskaarten die deze IC's gebruiken.

Er bestaan uiteraard ook periferie-IC's van de andere CPU-families zoals de 6502 en Z80. Deze worden niet gebruikt omdat ze nogal CPU-specifiek zijn. Onze toepassing vereist, zoals eerder gezegd, met name dat er geen gebruik gemaakt mag worden van het CPU-kloksignaal. Verder is het zo dat de wèl gebruikte IC's zeer gangbaar zijn, zodat reeds aanwezige kennis en informatie ook weer binnen het Mikrosysteem bruikbaar is. Overigens zijn alle op I/O-gerichte periferie-IC's ook via de mikrobus goed met de eigen CPU te gebruiken.

5.6 De basiskaarten

De basiskaarten vormen het hart van het Mikrosysteem. Je zou kunnen zeggen dat de bus en de busbuffer een noodzakelijk kwaad zijn om de basiskaarten te kunnen gebruiken. Als een bepaalde toepassing gerealiseerd moet worden, zal in eerste instantie gekozen moeten worden welke basiskaarten daarvoor nodig zijn. De te gebruiken busbuffer wordt door de gebruikte computer bepaald, de basiskaarten worden per toepassing gekozen. Daarbij zijn er soms meer overwegingen te maken dan men zo zou denken. Bijvoorbeeld de keuze tussen een A/D-omzetter en de PIT timer/teller als ingang voor een analoge meting, heeft gevolgen voor de hele opbouw en eigenschappen van een systeem. Zo'n keuze moet als eerste gemaakt worden voordat ook maar iets van het systeem gebouwd wordt. Met name de timer/teller kaart heeft wat minder bekende, verrassende toepassingsmogelijkheden. In boek 2 wordt daar verder op ingegaan.

De belangrijkste eigenschap van de basiskaarten is natuurlijk dat ze met de 808X, Z80, 6502 en 680X(X) CPU's gebruikt moeten kunnen worden. Dat heeft de keuze van de gebruikte IC's in eerste instantie bepaald. Zoals te zien valt, zijn het juist goed bekende types die toegepast kunnen worden. Dus die eis was geen probleem en er zijn geen koncessies voor gedaan. De basiskaarten bestaan uit; parallel-I/O, seriële I/O, teller/timer, A/D- en D/A-konversie, een 24-uurs klok (Real Time Clock) en een interrupt controller. Aan de hand van deze schakelingen is snel in te zien hoe andere periferie-IC's ook eenvoudig op de mikrobus aangesloten kunnen worden. Op de basiskaarten kunnen de sensors en actuators via de signaalkonditionerings-schakelingen worden aangesloten, zie het 2e boek. Pas dan komt het geheel tot leven. De basiskaarten kunnen de bussignalen in een gewenste vorm omzetten, maar het blijven signalen tussen 0 en +5 Volt met een klein vermogen. Om daar echt iets mee te doen moet er nog meer mee gebeuren. Als het signaal vanaf de sensor, of naar de actua-

tor, helemaal aangepast is, wordt pas echt een toepassing gerealiseerd. De bespreking van de basiskaarten is daarom algemeen gehouden, met enige nadruk op het programmeren van de werking. De toepassingen komen bij de signaalkonditionering, sensors en actuators aan de orde.

5.6.1 Schema's

In de schema's staat links steeds de aansluiting met de mikrobus. Rechts staat de nummering voor gebruik van een 26-polige header strip, of bij de seriële interface een D-konnektor. Door deze nummering op te volgen kan de aansluiting van de vervolg schakelingen gestandaardiseerd worden.
De voeding wordt niet bij de kaarten besproken, maar één keer in het hoofdstuk over de voeding.

5.6.2 Programmavoorbeelden

Bij de Basic-programmavoorbeelden is uitgegaan van een adressering met kaart 0 op adres 0, waarbij de Registerkeuze lijnen R0 t/m R4 op de adreslijnen A0..A4 zijn aangesloten. Afhankelijk van de computer en de daarbij gebruikte adresaansluiting voor het Mikrosysteem, moet dit dus aangepast worden. Uiteraard moeten de IN en OUT Basic-opdrachten ook aan het bij de computer gebruikte Basic-dialekt worden aangepast. Voor computers met een ZXXX-CPU zal de opdracht vaak ook IN of INP en OUT heten. Bij computers met een 6XXX-CPU heet het vaak PEEK voor lezen en POKE voor schrijven. Bij de appendix is een stuk over programmeren opgenomen. Vanuit deze voorbeelden zal het programmeren in andere talen ook duidelijk zijn. Er is één kompleet Basic-programma afgedrukt. Dit is een demonstratie van het gebruik van de PIA 6821 als printerinterface. Dit voorbeeld maakt duidelijk hoe een programma er in het algemeen uit zal zien.

5.7 TTL Parallelpoort

De TTL parallel invoer- en uitvoerpoort kunnen we zien als het principe model voor alle basiskaarten. Een groot voordeel van deze kaart is dat men niet wordt afgeschrikt door registers en modes. Als de poort goed in elkaar is gezet kan er direkt data gelezen of geschreven worden. Het programma kan daardoor ook eenvoudig van opzet blijven. De

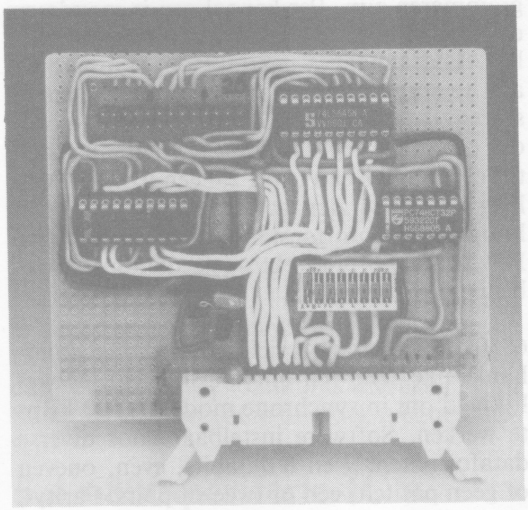


Foto 17. Prototype van de TTL parallelpoort

TTL parallelpoort biedt een goede basisoplossing. Vaak zal echter een programmeerbare parallelinterface gebruikt worden zoals verderop beschreven.

De kaart bestaat uit drie delen. Het kontroledeel, de data buffering voor de invoer en die voor de uitvoer. Voor het verwerken van de kontrolesignalen kunnen meerdere oplossingen worden gekozen. Deze worden als laatste beschreven.

5.7.1 Invoerdata-buffering

Als met een invoer- (input-) poort gelezen wordt, wordt een momentopname gemaakt van de toestand van de ingangslijnen van die invoerpoort. De datalijnen op de bus worden dan dus even aangestuurd door de niveaus op de ingangen van de invoerpoort. De CPU neemt dan die data op de stijgende flank van het –Strobesignaal van de databus over. Daarvoor wordt een IC gebruikt waarvan de uitgangen door middel van een poortsignaal om te schakelen zijn tussen de hoogimpedante (tri-state) toestand en een toestand waarbij de uitgang de ingang volgt. Men kan het vergelijken met het maken van een foto. De kamera is de hele tijd op het onderwerp gericht, als de foto gemaakt wordt gaat de sluiter heel even open. De tijd dat de sluiter open is, is te zien als de leespuls.
Voor de invoerpoort wordt een achtvoudige bus zend/ontvanger-IC gebruikt, de 74HCT645 octal bus transceiver. Eigenlijk

zou een achtvoudige buffer, de 74HCT244 octal buffer, voldoende zijn, maar aangezien we zoveel mogelijk standaardonderdelen willen gebruiken nemen we de 74HCT245 of liever de 74HCT645. Beide zijn funktioneel hetzelfde, de 645 heeft betere elektrische eigenschappen. De 74HCT645 beschikt over een poortingang die alle 8 lijnen bestuurt. Als dat signaal hoog is, zijn beide bussen geïsoleerd. Als het laag is zijn ze verbonden in de richting die het Dir-signaal (pin 1) aangeeft. Als Dir laag is, gaat de data van pin 11..19 naar pin 9..2 (B naar A). Als de richting pin 1 hoog is, dan gaat de data van pin 2..9 naar pin 19..11 (A naar B).

5.7.2 Uitvoerdata-buffering

Bij een uitvoer- (output-) poort moet de informatie in een fraktie van een sekonde van de databus overgenomen worden. Daarna moet die worden vastgehouden tot er een nieuwe opdracht komt om informatie van de databus over te nemen. Ook dit laat zich vergelijken met de foto, met dit verschil dat het meer lijkt op het maken van een polaroidfoto. En net zoals het maken van een Polaroid langer duurt dan het maken van een negatief, is voor het schrijven meer tijd nodig dan voor het lezen. In ieder geval moet de data langer beschikbaar zijn.
Het 'beeld' moet in bruikbare vorm vast worden gehouden. Op de uitgangspoort moeten spanningniveaus te zien zijn, die hetzelfde logische niveau hebben als de lijnen van de databus hadden toen de *uit*-instruktie werd gegeven. Daarvoor wordt een IC gebruikt met acht flipflop's. Een flipflop is een schakeling met twee stabiele toestanden. De toestand van de uitgang verandert slechts onder bepaalde konditie. De 74HCT374 wordt hiervoor gebruikt, dat is een "achtvoudig Data type flipflop met flanktriggering". In de databoeken heet dat octal edge triggered D type flipflop. Een D-type flipflop neemt de data van zijn ingang over op de uitgang als daartoe opdracht wordt gegeven. In dit geval is het een positive edge-triggered flipflop. Dat wil zeggen dat de flipflop's op de stijgende flank van het poortsignaal (Clock pin 11), de data van de ingang over nemen. Er is ook nog een ingang voor output control (pin 1), als die hoog is, is de uitgang in hoog-impedante toestand. Die ingang wordt hier niet gebruikt en wordt aan massa gelegd.

5.7.3 De kontrolesignalen

In het voorgaande verhaal over invoer/uitvoer is al uitgelegd dat elke I/O-aktie wordt bestuurd door de drie signalen: adres, timing en richting. Dat zien we hier letterlijk terug. Via een paar OF-poorten leveren de drie signalen –Kaartkeuze, –Richting (–Lees of –Schijf) en –Strobe samen de lees- of schrijfpuls op. Zo lang één of meer van die signalen hoog is, zal de poortingang van het periferie-IC hoog zijn. Zo gauw ze alle drie laag zijn, wordt de poortingang geaktiveerd. Andere kontrolesignalen worden bij deze kaart niet gebruikt.

5.7.4 De kaart

Het schema van de TTL parallel-I/O basiskaart laat een eenvoudige oplossing voor het verwerken van de kontrolesignalen zien. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de OF-poorten uit een 74HCT32-IC. Eerst wordt met één poort het –Kaartkeuze- en –Strobesignaal tot een kaartselect-signaal samengevoegd. Dit signaal levert daarna samen met het –Leessignaal via IC3B de leespuls op en met het –Schrijfsignaal via IC3C de schrijfpuls. De aansluiting van de pennummers van IC1 is in het schema zo gedaan dat een print eenvoudig te ontwerpen is.

Het programma

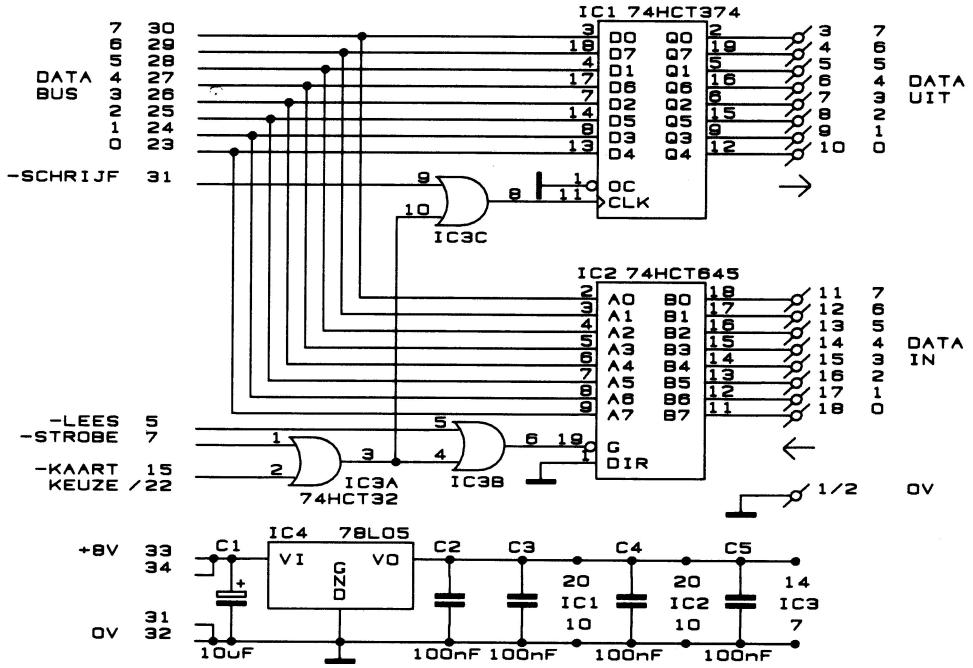
Aangezien de poort direkt beschreven, of uitgelezen kan worden is dit zeer eenvoudig.
Lezen: X = INP(0)
Schrijven: OUT 0,X

5.7.5 Andere oplossing voor de kontrolesignalen

Er bestaan diverse manieren om de kontrolesignalen te verwerken tot een lees- en schrijfpuls. Naast de bij de TTL-basiskaart gebruikte OF-poorten, worden hier nog drie manieren beschreven.

5.7.5.1 Diode/weerstand logica

Een alternatief voor de OF-poorten bestaat uit het gebruik van diode/weerstand logica. Schema 5-2A laat een OF-poort met drie ingangen zien. Deze is samengesteld uit drie dioden en een weerstand. Bij HCT-IC's in de busbuffer werkt dat goed, bij gebruik van LS-IC's is dat minder zeker. Dat zit hem vooral in het spanningsniveau van de hoge uitgang, bij HCT is dat boven de 3.98V en bij

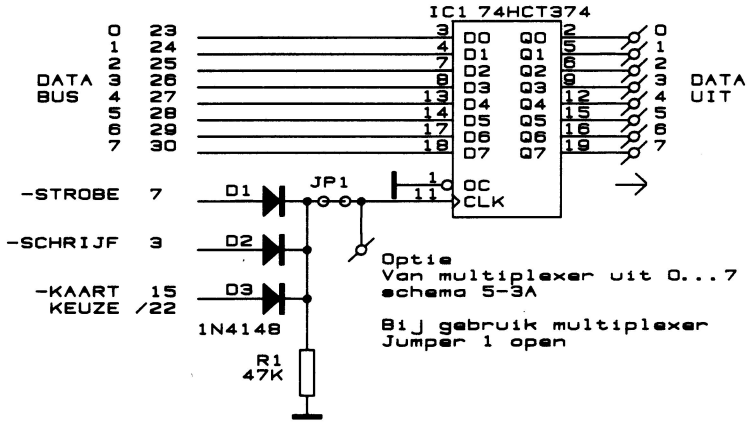


FAMILIE	IN LAAG	IN HOOG	UIT LAAG	UIT HOOG
TTL	<0.8 V -2 mA	>2 V 40 uA	<0.5 V 16 mA	>2 V -0.4 mA
LS-TTL	<0.8 V -0.4 mA	>2 V 40 uA	<0.5 V 8 mA	>2 V -0.4 mA
HCT	<0.8 V -1 uA	>2 V 1 uA	<0.26 V 4 mA	>3.98 V -4 mA

Figuur 5-1. TTL-parallelpoort

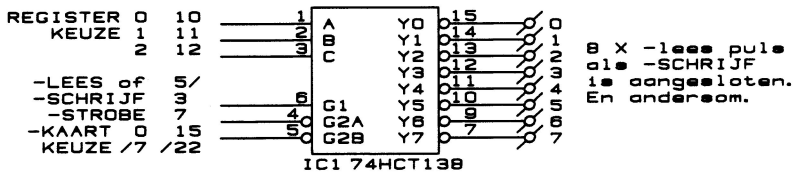
LS boven 2V, terwijl bij HCT en LS het hoge ingangsniveau boven 2V ligt. Het is duidelijk dat de 0.7V spanningsval over de diode een probleem is bij LS in de busbuffer. In de praktijk is het uitgangsniveau van LS wel zodanig dat de truuk ook werkt, maar dan buiten de specifikaties van de onderdelen. Als een Schottky-diode wordt gebruikt, werkt alles prima. Deze dioden hebben een spanningsval van typisch 0,25 V. Samen met een TTL-uitgang met 0,4 V of een BC547B-uitgang met 0,25V laag uit, werkt dat binnen de specifikaties van een TTL-ingang. Bij het Mikrosysteem wordt geen diode-weerstand logica toegepast.

5.7.5.2 Acht poorten per -Kaartkeuzesignaal
Met de hiervoor beschreven manieren van opwekken van de schrijfpuls en de leespuls, kunnen binnen het Mikrosysteem in totaal slechts acht invoer- en acht uitvoerpoorten geadresseerd worden. Om meer poorten aan te sturen moeten de Registerkeuzelijnen erbij betrokken worden. Het volgende schema laat zien hoe dat met een 74HCT138 demultiplexer gaat. De werking van dit IC is bekend van de busbuffers. Er worden drie Registerkeuzesignalen voor de extra adressering gebruikt. Zo zijn per –Kaartkeuzesignaal acht unieke adressen bereikbaar, dus in totaal 64 invoer- en 64 uitvoerpoorten in het Mikrosysteem. Met een uitgebreidere adresdekodering kunnen de maximaal 255 unieke adressen binnen het Mikrosysteem bereikt worden. Omdat de 74HCT138 drie kontroleingangen heeft, kan het IC meteen gebruikt worden om de leespuls of schrijfpuls te verzorgen. Daarbij moet rekening worden ge-



Figuur 5-2A. Poort met diode-weerstand logica

houden met het hoog aktieve karakter van de poortingang G1 op pin 6. Aangezien er binnen het Mikrosysteem op de busbuffer altijd voor wordt gezorgd dat −Lees en −Schrijf aanwezig zijn, kan er van worden uitgegaan dat −Lees altijd hoog is tijdens een schrijfaktie en omgekeerd. Zo zou −Lees ook +Schrijf kunnen worden genoemd, en −Schrijf zou +Lees kunnen heten. Daarvan wordt hier gebruik gemaakt. Om leespulsen op te wekken wordt −Schrijf op G1 aangesloten, voor schrijfpulsen wordt −Lees aangesloten.

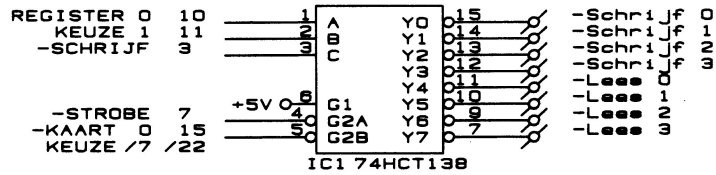


Figuur 5-2B. Acht poorten per -Kaartkeuzesignaal

5.7.5.3 Lees- en schrijfpulsen met één HCT138

Het volgende schema laat zien hoe met één HCT138 vier leespulsen en vier schrijfpulsen opgewekt kunnen worden. Ook hierbij wordt gebruik gemaakt van het feit dat de −Lees en −Schrijf kontrolelijnen nooit tegelijk laag aktief zijn. Op poortingang G1 wordt +5 V aangesloten. Met −Lees- of −Schrijf en Registerkeuze 0 en Registerkeuze 1 kan tussen de acht uitgangen gekozen worden. −Kaartkeuze en −Strobe zorgen er voor dat er −Lees en −Schrijf pulsen uitkomen.

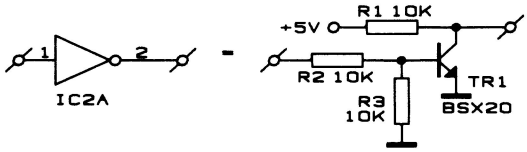
Met deze schakeling kunnen dus vier 8-bits invoerpoorten en vier 8-bits uitvoerpoorten aangestuurd worden. Als ingang C laag is leveren de uitgangen Y0..Y3 pulsen en als C hoog is leveren Y4..Y7 pulsen. Dus als −Schrijf op C wordt aangesloten leveren Y0..3 schrijfpulsen en de uitgangen Y4..Y7 leespulsen. Dat kan dus desgewenst omgewisseld worden door −Lees in plaats van −Schrijf aan te sluiten.



Figuur 5-2C. Lees en schrijf pulsen met één HCT138

5.7.5.4 Transistor inverter

Bij sommige schakelingen in dit boek wordt slecht één enkele inverter gebruikt. Dat kan ook met één transistor in plaats van met een inverter uit een IC opgelost worden. Zonder verder kommentaar wordt de schakeling daarvoor afgebeeld. Er moet een snelle schakeltransistor gebruikt moet worden, bijvoorbeeld de BSX20.



Figuur 5-3. Transistor als inverter

5.7.6 Eindkonnektor

De uitgaande signalen komen bij elkaar op de eindkonnektor. De volgende aanbeveling voor het gebruik van deze konnektor bevordert een zo groot mogelijke uitwisselbaarheid tussen de drie parallel-I/O basiskaarten. Op deze manier kunnen namelijk toepassingen die acht IN- en/of acht UIT-kanalen gebruiken, met alle drie de parallelpoorten werken. Dit is vooral van belang voor het eenvoudig aansluiten van de signaalkonditioneringsschakelingen uit het tweede boek. Het is de bedoeling dat een 26-polige header wordt gebruikt. Bij de TTL-I/O-poort kan eventueel met een 20-polige headerstrip worden volstaan, een 26-polige socket konnektor zal dan toch passen, maar kan foutief worden aangesloten.

0V	B6	B4	B2	B0	A6	A4	A2	A0	C	C	C	C
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
0V GND	B7	B5 UITVOER	B3	B1	A7	A5 INVOER	A3	A1	C HANDSHAKE / INT			

KAART	PIN NR 3..10	PIN NR 11..18	PIN NR 19..26
TTLPOORT	UIT 7..0	IN 7..0	niet gebruikt
PIA6821	KAN B 7..0	KAN A 7..0	HANDSHAKE - INTERRUPT
PPI8255	KAN B 7..0	KAN A 7..0	I/O - HANDSHAKE - INT

Kanaal C enigszins overeenkomende handshake & interrupt							
Pin Nr	6821 pin	naam	8255 pin	Mode 0 I/O	Mode 1 IN	Mode 1 UIT	Mode 2 I/O
19	39	CA2	10	Data7	I/O	-OBFa	-OBFa
20	40	CA1	11	D6	I/O	-ACKa	-ACKa
21	x	X	12	D5	IBFa	I/O	IBFa
22	x	X	13	D4	-STBa	I/O	-STBa
23	(38)	INTA	17	D3	INTRa	INTRa	INTRa
24	18	CB1	16	D2	-STBb	-ACKb	I/O
25	19	CB2	15	D1	IBFb	-OBFb	I/O
26	(37)	INTB	14	Data0	INTRb	INTRb	I/O

Aanbevolen pin nummering parallel poort eindkonnektor.
26 polige male header strip.
Nummering vanaf de komponentzijde. zie tekening.

Figuur 5-X1.

5.8 PIA 6821 Parallel-I/O

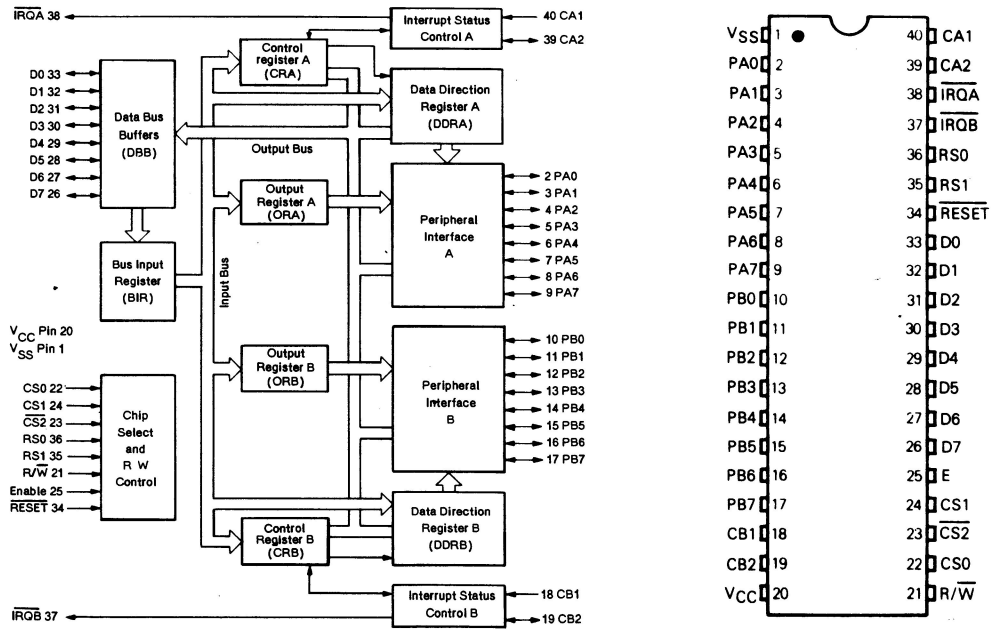
De Parallel Interface Adapter 6821 is het programmeerbare parallel periferie-IC uit de Motorola 6800-reeks. De 6821 heeft als bijzondere eigenschap dat per poortbit geprogrammeerd kan worden of die lijn als ingang of als uitgang werkt. Van kanaal A kan in de uitgangsmode toch het niveau op de poortpin gelezen worden. De lijnen van kanaal B zijn hoogimpedant bij gebruik als ingang. Dit IC is door deze eigenschappen heel geschikt voor gebruik in testers van TTL en CMOS-IC 's en ook voor het testen van schakelingen. De bedrading kan immers vast naar een konnektor worden gelegd, het programma doet de rest.
Daarnaast vinden we op de 6821 twee handshake-lijnen per poort.
Deze zijn bijvoorbeeld van belang voor een parallel printerinterface.
Het interne blokschema van het IC verduidelijkt de werking.

De eigenschappen van de PIA6821:
Twee parallel invoer-/uitvoerpoorten van 8-bits.
De datarichting is per poortbit in te stellen.
Per kanaal één binnenkomende en één in- of uitgaande handshake.
Diverse handshake- en interruptgedrag programmeerbaar.

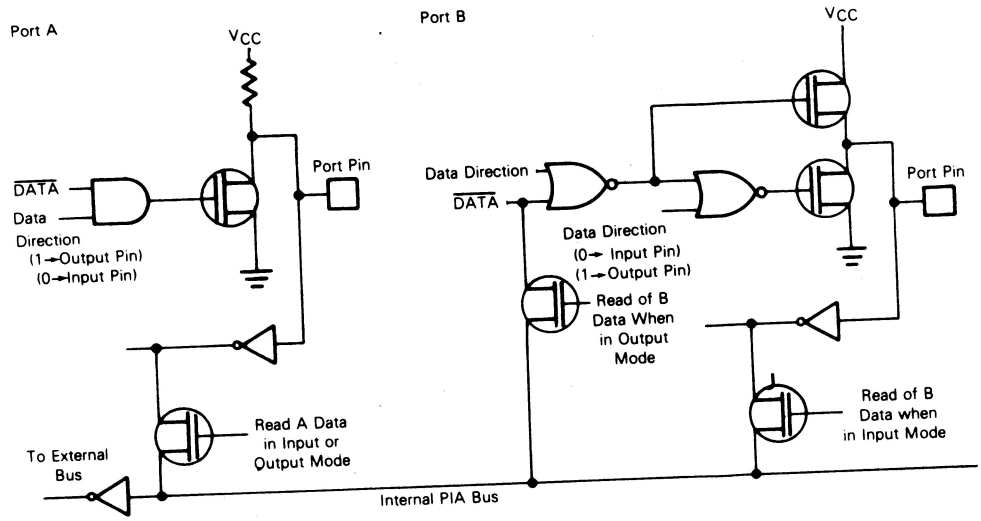
5.8.1 De verschillende eigenschappen van poort A en poort B

– Poort A
De uitgangsniveaus zijn CMOS-compatible. De interne pull-up weerstand is ook bij gebruik als ingang met de pinnen verbonden, daarom vraagt deze poort meer ingangsstroom dan poort B. De ingangsbelasting is maximaal gelijk aan 1,5 LS-TTL-belasting. Ingangsschakelniveaus:
hoog>=2V, laag<= 0.8V.

– Poort B
De pinnen zijn verbonden met NMOS In-/Uitgangen. De uitgang is tri-state en TTL-compatible. Om CMOS aan te sturen is een externe pull-up weerstand nodig. De uitgangen kunnen direkt een darlingtontransistor aansturen bij een uitgangsstroom van minimaal 1 mA bij 1.5 V. De uitgangsbuffers van



Figuur 5-X2.



Figuur 5-X3. Poort A en B.

de lijnen die als ingang worden gebruikt gaan in hoog-impedante toestand (tri-state) en vragen minimale ingangsstromen.

Een samenvatting van de ingangs- en uitgangsspanningsniveaus en toelaatbare stromen:

Kan.	Dir.	Pol.	V	mA
A	IN	H	2,4	0,4
A	IN	L	0,4	-1,3
A	UIT	H	4 (2,4)	0,01 (0,2)
A	UIT	L	0,4	-3,2
B	IN	X	0,4..2,4	+/-0,002
B	UIT	H	2,4 (1,5)	0,2 (1<X<10)
B	UIT	L	0,4	-3,2

De ingangskapaciteit van de kanalen is 10 pF. De maximale vermogensdissipatie is 550 mW. We kunnen dit ook helemaal vergeten als de lijnen alleen maar met TTL-ingangen of -uitgangen worden verbonden, dus LS- of HCT-IC's.

5.8.2 Een ander belangrijk verschil tussen poort A en B komt voor bij een leesaktie. Terwijl de poort op uitgang staat wordt bij poort A tijdens een leesaktie, gelezen wat werkelijk op de pin aan niveau aanwezig is. Bij poort B wordt gelezen wat in het register is geschreven.

Als een lijn van de A-poort te zwaar belast wordt, is dat te zien aan een verschil tussen het geschreven en gelezen niveau op die lijn.

5.8.3 Per kanaal zijn twee handshakesignalen beschikbaar.
CA1 en CB1 zijn alleen als ingang te gebruiken. Met het mode kontrolewoord kan onder andere de aktieve flank ingesteld worden en kan de interruptuitgang aan- of uitgezet worden. CA1 en CB1 lijken op gewone TTL invoerpoorten, de ingangslekstroom is kleiner dan 2.5 μA.
CA2 en CB2 kunnen als ingang of als uitgang worden gebruikt. De werking wordt ook met het mode-woord ingesteld. De elektrische eigenschappen van CA2 zijn gelijk aan die van de datalijnen van kanaal A. Die van CB2 zijn gelijk aan de datalijnen van kanaal B.

5.8.4 Programmeren
Na een reset, dus bij het opstarten, staan beide kanalen op ingang. Poort B is in hoogimpedante toestand, de ingangstoestand hangt dan ook af van de aangesloten impedantie of spanning. Poort A herkent alleen TTL spanningsniveaus. Alle bits in alle registers worden op '0' gezet.

Er zijn zes interne registers, drie voor elk kanaal.

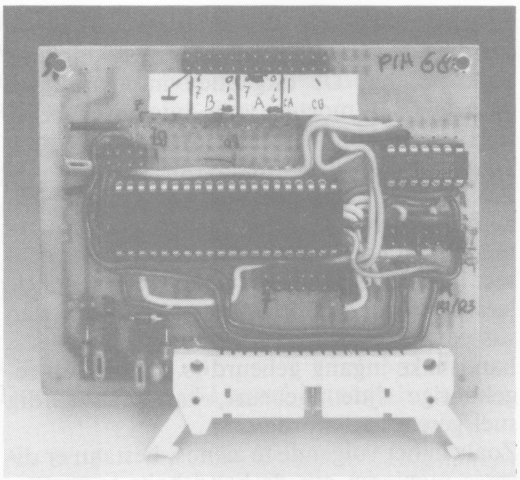


Foto 7. Prototype van de PIA-kaart

Een Mode- (control) register, een Richting- (data direction) register en een Data- (peripheral) register. Er worden echter maar vier adressen op de bus gebruikt. De richting en data registers zitten op het zelfde adres! Om ze te bereiken moet eerst in het mode-register opgegeven worden, welk register bij de volgende aktie bedoeld gaat worden. Bit 2 van het mode-woord bepaalt of de volgende data die in het data/richting register wordt geschreven, als data of richting wordt opgevat. Eigenlijk kan het mode-woord voor een groot deel vergeten worden zolang de handshake maar niet gebruikt wordt. Alleen bit 2 van het modewoord is van belang voor gewoon parallel invoer- en uitvoerwerk zonder handshake en interrupts, de ander bits moeten dan allemaal nul zijn.

De volgorde van programmeren is:
A) Zet de mode met bit 2 op 0 (dus geen veelvoud van 4 in het mode-woord).
B) Geef daarna de richting op, elk bit van het richting byte zet een lijn op in of uit. Hoog (1) is uitgang, laag (0) is ingang.
C) Dan opnieuw het mode-woord schrijven met bit 2 is hoog.
D) Daarna kan de data gelezen of geschreven worden. Er kunnen steeds data bytes gelezen of geschreven worden totdat er via een modewoord met bit 2 = 0 voor het richtingsregister gekozen wordt.

Hier een programmavoorbeeld voor I/O zonder handshake:

OUT 1,0	zet kanaal A op richting register.
OUT 0,0	zet alle 8 lijnen (bits) van kanaal A op ingang.
OUT 1,4	zet kanaal A op data register.
X=INP(0)	lees de data op de ingangslijnen van kanaal A.
OUT 3,0	zet kanaal B op richting register.
OUT 2,255	zet alle bits van kanaal B op uitgang.
OUT 3,4	zet kanaal B op data register.
OUT 2,X	schrijf waarde X naar poort B (0 <= X <= 255).

5.8.5 Het bovenstaande is voldoende om "gewoon" parallel invoer en uitvoer te doen. Daarmee kan op elk gewenst moment de toestand van uitgaande lijnen veranderd worden en van ingaande lijnen ingelezen worden. Daarvoor hoeven maar twee verschillende kontrolewoorden te worden gebruikt, waarde 0 of waarde 4. Het kontrolewoord wordt dan als schakelaar gebruikt, er kan gekozen worden of de data na het kontrolewoord een richtingsinstruktie of te schrijven data betreft. Aangezien er over het algemeen geen reden is om de richting meerdere keren achter elkaar te veranderen bestaat het programmeren eigenlijk uit twee verschillende akties, het instellen van de richting en daarna het lezen en/of schrijven van data. Het mode-woord wordt dus alleen voor en na het bepalen van de richting gebruikt. De rest van de tijd kan met data gewerkt worden. Als er met handshake en dus interrupts wordt gewerkt, is het iets ingewikkelder.

Programmavoorbeeld:

A) Stel de richting van de 8 kanalen in.

1 OUT 1,0	Zet mode op richting.
2 OUT 0,0..255	Geef de gewenste richting op.
3 OUT 1,4	Zet mode weer op data.

B) Lees- of schrijf data.

OUT 0,0..255	Schrijf data.
of	
X=IN(0)	Lees data

N.B. Het voorbeeld geldt voor poort A, voor poort B moeten de adressen + 2 worden genomen. De aangegeven adressen zijn *register-*

adressen, in het definitieve programma moet hier steeds het *kaartadres* bij worden opgeteld.

5.8.6 Handshake

Soms bestaat er behoefte aan dat de parallel-interface en het randapparaat samen werken. Vaak gaat het dan om het transporteren van data die door het randapparaat verwerkt moet worden, of andersom. Net zoals bij de computerbus *kontrole*signalen aanwezig zijn om het datatransport te begeleiden, zijn bij interfaces *handshake*lijnen beschikbaar. Hiermee kan informatie over de toestand en de timing van de data-overdracht verstuurd worden. Dit wordt bijvoorbeeld gebruikt bij het verderop beschreven parallel printerinterface. De handshakesignalen kunnen ook handig zijn bij het verwerken van binnenkomende data. Het randapparaat kan dan doorgeven wanneer er nieuwe gegevens beschikbaar zijn. Daarmee kan een wezenlijk andere opbouw van een meet- en regelsysteem worden verkregen.
Bij meet- en regelsystemen wordt onderscheid gemaakt tussen interrupt gestuurde processen en processen die met "polling" werken.

Polling houdt in dat de binnenkomende data periodiek bekeken wordt. Het initiatief gaat van de CPU uit. Bij interruptsturing verzorgt de randapparatuur een attentie signaal waarop het programma reageert. Het voordeel daarvan is dat de computer veel efficiënter kan worden gebruikt. Een nadeel is dat de programma's speciaal aangepast moeten zijn en dat er vaak meer programmeer inspanning wordt vereist voor interruptverwerking dan voor polling. De uitgaande interruptlijnen van de 6821 moeten voor interruptgebruik met de mikrobus verbonden worden, de jumpers 7 t/m 10 dienen daarvoor.
Als gebruik wordt gemaakt van de handshakelijn is in het kontroleregister te zien of er nieuwe data beschikbaar is zonder dat er echt met interrupts wordt gewerkt. Met een enkele leesaktie van het kontroleregister kan dan vastgesteld worden of er iets met een handshake-ingang gebeurd is. Als dit op regelmatige tijden gebeurt, kan toch aardig snel gereageerd worden.
Zoals in het volgende te zien is, bestaan er diverse manieren om de handshake te verzorgen. Met name handshakekanaal 2 kent veel werkwijzen. De mogelijkheid om handshakelijn 2 onder programmakontrole te besturen bestaat. Maar er kan ook 'automatisch' met een handshakelijn gereageerd worden op het lezen (CA2) of schrijven (CB2) van data.

5.8.7 Het mode-woord

Via het mode-woord moeten een aantal zaken ingesteld worden. In de eerste plaats moet met bit 4 gekozen worden voor het lezen en schrijven met de dataregisters of de richtingsregisters. Verder kan de werking van de handshakelijnen bepaald worden. Vrijwel het hele mode-woord is daarvoor in gebruik. Bit 6 en 7 kunnen gelezen worden om de toestand van de interruptkanalen vast te stellen.
Korte beschrijving van de bits van het mode-woord:

Bit	Dec.	Invloed	Betekenis
0	1	CA1/CB1	0 = disable interrupt, 1 = enable interrupt
1	2	CA1/CB1	0 = interrupt op hoog->laag (dalende flank)
			1 = interrupt op laag->hoog (stijgende flank)
2	4	Data/Dir	0 = richting, 1 = data (volgende bytes)
3	8	CA2/CB2	Bit 3 en 4 zetten interruptmode CA2/CB2
4	16	CA2/CB2	idem, zie uitleg verderop
5	32	CA2/CB2	0 = input 1 = output
6	64	IRQ2	flag voor interrupt (handshakekanaal 2)
7	128	IRQ1	flag voor interrupt (handshakekanaal 1)

Nadere toelichting:
- Bit 0 en bit 1 beïnvloeden de werking van CA1 en CA2.

Met bit 0 wordt bepaald of de handshake-ingang CA1 of CB1 een interrupt naar de CPU kan veroorzaken. Met bit 1 wordt de aktieve flank ingesteld. Handshakekanaal 1 (CA1 en CB1) kan alleen als binnenkomende handshake gebruikt worden. Als er een aktieve flank op de lijn gezien wordt zal het bijbe-

horende bit 7 (flag 1A en 1B) hoog gemaakt worden. Dit bit wordt weer laag gemaakt als er data uit het bijbehorende dataregister gelezen wordt.

- Bit 2

Met dit bit wordt bepaald of de daarna volgende lees- en schrijfakties naar adres 0 voor kanaal A of adres 2 voor kanaal B met het dataregister of met de richtingregisters werken.

- Bit 3, 4 en 5 beïnvloeden de werking van CA2/CB2.

Doordat CA2/CB2 zowel ingang als uitgang kunnen zijn, is hun programmering komplexer. Daar komt bij dat de funktie van CA2/CB2 bij gebruik als uitgang ook nog verschilt t.o.v. CA1/CA2. Verder zit er uiteraard verschil in het gebruik als ingang of uitgang. Met bit 5 wordt aangegeven of CA2/CB2 voor een ingaande of uitgaande handshake wordt gebruikt.

Als handshakekanaal 2 (CA2/CB2) voor binnenkomende handshake wordt gebruikt, lijkt de werking op handshakekanaal 1. De funktie van bit 3 en 4 is dezelfde als van bit 0 en 1 voor handshake 1.

Als *bit 5 = 0 (binnenkomende handshake)* dan bepaalt:
- Bit 3 0 = geen interruptreaktie
  1 = wèl interruptreaktie
- Bit 4 0 = interrupt op dalende flank
  1 = interrupt op stijgende flank

Als handshakekanaal 2 als uitgaande lijn wordt gebruikt, zijn er nogal wat mogelijkheden. Daarbij hangt de ene instelling van de andere af. In volgorde van invloed bit 4, bit 3 en flag 2 (bit 6):

Als *bit 5 = 1 (uitgaande handshake)* dan bepaalt:
- Bit 4 0 = Uitgaand niveau verandert na *data*verwerking.
  1 = Uitgaand niveau verandert na programma-*opdracht*.

- Bit 3 Werking wordt mede bepaald door bit 4.
  Bit 4 = 0: kanaal A en B werken verschillend:
  Kanaal A
  Bit 3 = 0 Na een *leesaktie* volgt reset van de *uitgang* CA2, gezet via handshake-ingang 1 (CA1). CA2 wordt laag op de achterflank van het enable-/-strobesignaal, nadat de data van kanaal A is gelezen. CA2 wordt weer hoog na een aktieve flank (=interrupt) op de CA1-ingang.
  Bit 3 =1 Na een *leesaktie* volgt reset van de *uitgang* CA2, gezet via handshake-ingang 1 (CA1). CA2 wordt laag op de achterflank van het enable-/-strobesignaal, nadat de data van kanaal A is gelezen. CA2 wordt bij de volgende achterflank van het enable-/-strobesignaal weer hoog.
  Kanaal B
  Bit 3 =0 Na een *schrijfaktie* volgt reset van de *uitgang* CB2, gezet via handshake-ingang 1 (CB1). CB2 wordt laag op de achterflank van het enable-/-strobesignaal, nadat data naar kanaal B is geschreven. CB2 wordt weer hoog na een aktieve flank (=interrupt) op de CB1-ingang.
  Bit 3 =1 Na een *schrijfaktie* volgt reset van de *uitgang* CB2, gezet via handshake-ingang 1 (CB1). CB2 wordt laag op de achterflank van het enable-/-strobesignaal, nadat data naar kanaal B is geschreven. CB2 wordt bij de volgende achterflank van het enable-/-strobesignaal weer hoog.
  Bit 4 =1 Als bit 4 hoog is, volgt de handshakelijn de toestand van bit 3. Door een *schrijfaktie* op het kontrole-register kan de toestand van CA2(CB2) worden geprogrammeerd.
  Bit 3 =0 Handshakelijn is laag.
  Bit 3 =1 Handshakelijn is hoog.

Om het kontrolewoord voor handshakegebruik samen te stellen moeten dus een aantal keuzes gemaakt worden:
- wordt handshakekanaal 1 (ingang) gebruikt:
  - welke flank moet aktief zijn handshakekanaal 1.
- wordt kanaal 2 als ingang of als uitgang gebruikt:
  - bij ingang moet de aktieve flank gekozen worden.
  - bij uitgang moet gekozen worden voor programmakontrole of handshake-aktie na lezen/schrijven van data.
  - bij uitgaande handshake na data-aktie kiezen tussen.
  - aktie na lezen of schrijven.
  - handshake hoog na aktieve flank op kanaal 1 of automatisch.

- Bit 6 en 7

Als op de binnenkomende handshakelijnen een aktieve flank is gezien wordt het bijbehorende bit in het kontroleregister op 1 gezet. Er zijn vier van die bits. Elk kanaal heeft er voor beide handshakelijnen één. De vier bits kunnen alleen gelezen worden, door een rechtstreekse schrijfopdracht veranderen ze niet. Ze worden op nul gezet als het bijbehorende dataregister wordt gelezen. In de datasheets van de 6821 heten deze bits CRA6, CRA7, CRB6 en CRB7 die horen bij de handshake lijnen CA2, CA1, CB2 en CB1. Een andere mogelijke benaming voor de bits is: Flag 1A, Flag 2A, Flag 1B en Flag 2B voor respektievelijk handshake 1 en 2 van kanaal A en B.

5.8.8 De kaart

Het schema van de PIA6821 parallel-I/O basiskaart laat zien dat er maar weinig elektronica aan te pas komt. Behalve de 6821 slechts één IC, een 74HCT04 inverter. Met de inverter wordt het –Strobesignaal in het voor de 6821 gewenste, positief aktieve, Enablesignaal omgezet. Met twee van de overgebleven inverters en de twee ChipSelect-ingangen kunnen op eenvoudige manier vier kaarten op één –Kaartkeuzesignaal aangesloten worden. Als jumper 1 en 4 gesloten zijn hebben de Registerkeuzesignalen geen invloed. De interruptuitgangen van kanaal A en B kunnen desgewenst via jumper 7 t/m 10 met de –INT of –NMI interruptingangen van de mikrobus verbonden worden. Dit kan het beste alleen gebeuren als er ook echt met interrupts in het programma wordt gewerkt. Aangezien er nog inverters over waren, zijn er twee gebruikt om ongeveer met de 8255 overeenkomstig funktionerende interruptsignalen op de eindkonnektor te zetten. Deze uitgangen zijn hoog aktief. Daardoor kunnen ze rechtstreeks op een PIC 8259A-ingang worden aangesloten, zie interruptexpander. Jumper 11 en/of 12 moeten daarvoor gesloten worden. De interruptuitgangen naar de bus zijn dan geen open-kollektoruitgang meer.

Tabel adresinstelling met jumper 2..6

Register		Jumper				Adres
K2	K3	2	3	5	6	
0	0	-	x	-	x	0
0	1	-	x	x	-	1
1	0	x	-	-	x	2
1	1	x	-	x	-	3

– = open x = gesloten jumper

Met Registerkeuze 2 en 3 wordt het adres vastgelegd. Een '1' in bovenstaande tabel staat voor een hoge lijn, het adresbit is dus ook '1'.

5.8.9 Eindkonnektor

Voor de aansluiting van de signalen op de eindkonnektor geldt hetzelfde als bij de TTL parallelpoort uit 5.7.6. Hier komen de handshake- en interruptsignalen nog extra bij. Daarvoor is ook een aanbevolen aansluiting uitgewerkt. Op deze manier kan een zo groot mogelijke uitwisselbaarheid verkregen worden voor het aansluiten van vervolgschakelingen op de parallel-in/uit basiskaarten.

5.8.10 Parallel printerinterface (centronics)

Een echte centronics-interface beschikt over een groot aantal kontrolesignalen en heeft een duidelijk gedefinieerde konnektor. Dit is een 36-polige zogenaamde delta ribbon konnektor. Veel parallel printerinterfaces zijn slechts een benadering van de echte centronics-interface. Bijvoorbeeld bij de IBM-PC-serie en de Atari-ST-serie is de printerkonnektor om te beginnen al afwijkend. Vaak is het aantal kontrolelijnen drastisch beperkt, maar bij iedere parallel printerinterface zijn naast de acht datalijnen en aarde verbinding minimaal twee handshakesignalen aanwezig. Vanuit de computer moet voor timing gezorgd worden, dat is het *strobe*signaal. De printer kan met een *busy*- of een

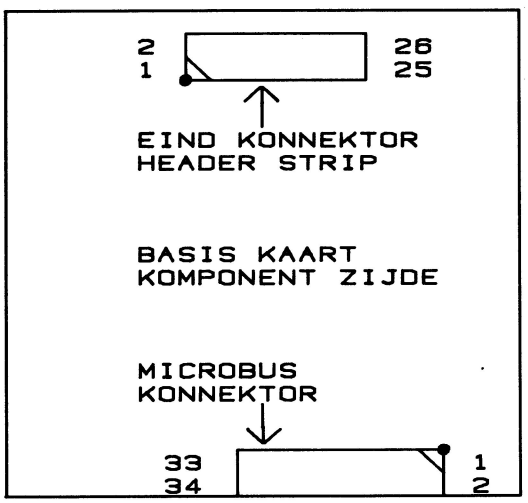
0V	B6	B4	B2	B0	A6	A4	A2	A0	C	C	C	C
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
0V GND	B7	B5	B3	B1	A7	A5	A3	A1	C	C	C	C
		UITVOER				INVOER			HANDSHAKE / INT			

KAART	PIN NR 3..10	PIN NR 11..18	PIN NR 19..26
TTLPOORT	UIT 7..0	IN 7..0	niet gebruikt
PIA6821	KAN B 7..0	KAN A 7..0	HANDSHAKE - INTERRUPT
PPI8255	KAN B 7..0	KAN A 7..0	I/O - HANDSHAKE - INT

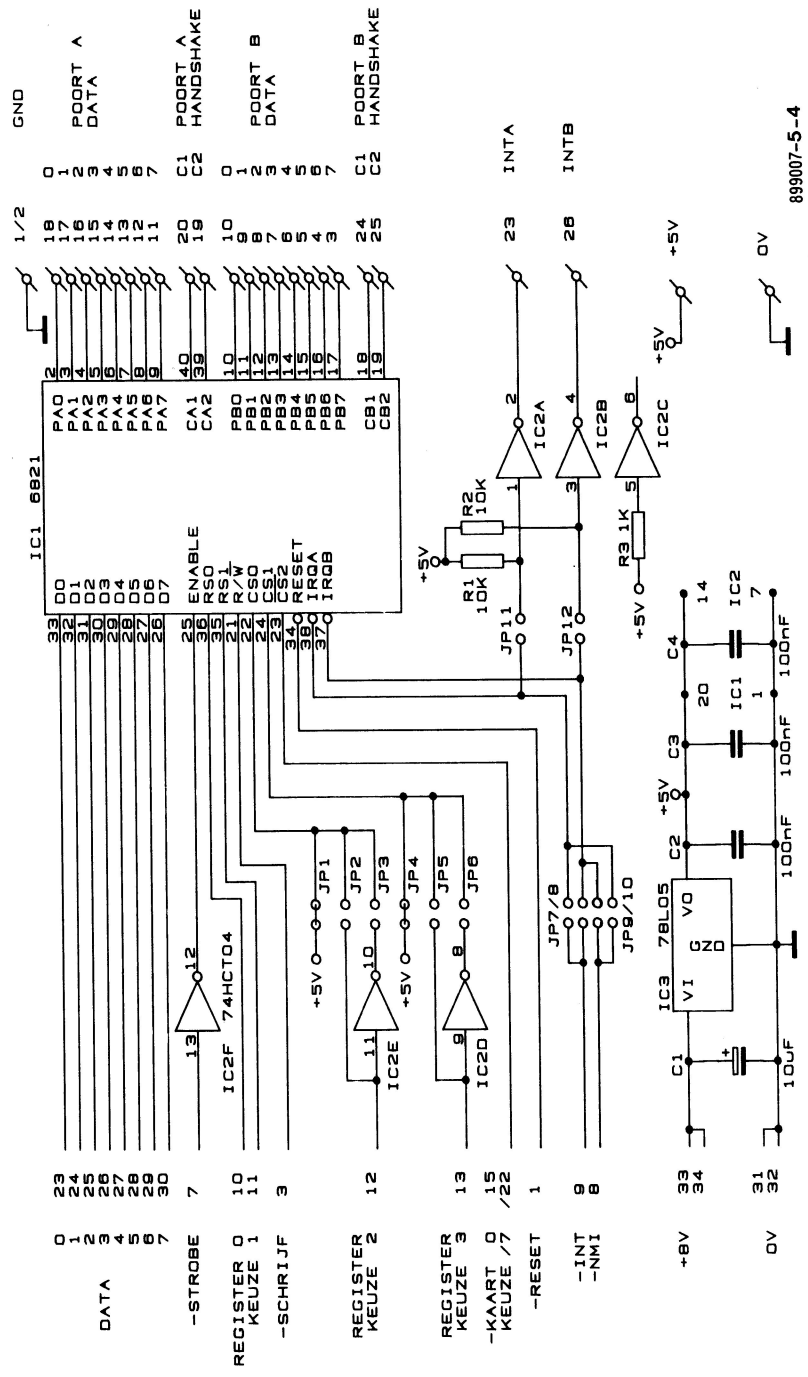
Kanaal C enigszins overeenkomende handshake & interrupt							
Pin Nr	6821 pin	naam	8255 pin	Mode 0 I/O	Mode 1 IN	Mode 1 UIT	Mode 2 I/O
19	39	CA2	10	Data7	I/O	-OBFa	-OBFa
20	40	CA1	11	D6	I/O	-ACKa	-ACKa
21	x	X	12	D5	IBFa	I/O	IBFa
22	x	X	13	D4	-STBa	I/O	-STBa
23	(38)	INTA	17	D3	INTRa	INTRa	INTRa
24	18	CB1	16	D2	-STBb	-ACKb	I/O
25	19	CB2	15	D1	IBFb	-OBFb	I/O
26	(37)	INTB	14	Data0	INTRb	INTRb	I/O

Aanbevolen pin nummering parallel poort eindkonnektor.
26 polige male header strip.
Nummering vanaf de komponentzijde. zie tekening.

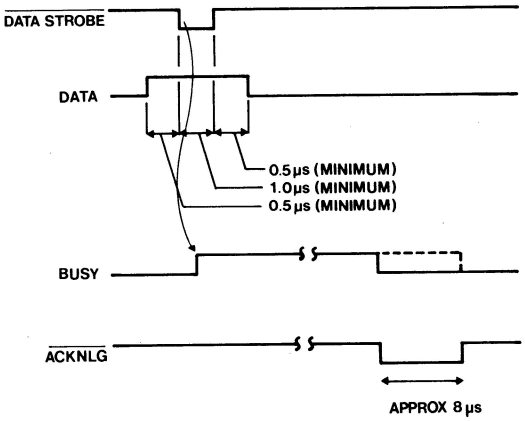
*acknowledge*signaal reageren. Als de computer de data op de parallelpoort heeft gezet, wordt met het strobesignaal aangegeven dat de printer die data over kan nemen. Als de strobe van laag naar hoog gaat wordt de data door de printer overgenomen. De printer kan met busy of acknowledge reageren. Het busysignaal wordt het meest gebruikt. In rust is deze lijn laag, hij zal hoog worden zo gauw de data door de printer overgenomen wordt. Als de printer gereed is om nieuwe data op te nemen, zal het busysignaal weer laag worden. De computer kan dan het volgende karakter versturen. Als de printer met acknowledge (bevestiging) reageert, zal de printer nadat een karakter verwerkt is reageren door de Ack-lijn even laag te maken. De computer kan dan ook reageren door het volgende karakter te versturen. Een acknowledgesignaal is dus maar even beschikbaar om te zeggen dat het karakter geaksepteerd is. Het busysignaal maakt altijd duidelijk of de printer data kan aksepteren of niet. De omschrijving van een dergelijke vaststaande volgorde van akties wordt een protokol genoemd.



Figuur 5-X4.



Figuur 5-4. Parallel poort met PIA6821



Figuur 5-X5.

Het parallel printerprotokol samengevat:
1) De computer zet data op de datalijnen naar de printer.
2) De –Strobelijn wordt even aktief laag.
3) De Busylijn wordt daarop direkt aktief hoog.
4) De printer neemt data over.
5) Het karakter wordt afgedrukt.
6) Acknowledge wordt even aktief (puls) en Busy wordt inaktief.

Ga daarna weer naar stap 1.

5.8.10.1 Parallel printerinterface met de PIA6821.
De 6821 kan heel goed gebruikt worden om een parallel printerinterface te maken. De uitgaande handshake kan automatisch via CB2 gedaan worden. Bij een bepaalde werkwijze zal CB2 steeds even laag worden als er nieuwe data naar uitgang poort B is geschreven. Voor printers moet de –Strobe puls vaak minimaal 0.5µs tot 1µs duren. De minimale timing cyclus voor E (–Strobe van de mikrobus) op een 6821 is ook 1 µs, dus wanneer een 6821 in een bepaald computer systeem wordt toegepast, zal de –Strobepuls lang genoeg voor een printer zijn. Omdat alleen CB2 automatisch met uitgaande data werkt, moet poort B voor de data gebruikt worden. Bij de binnenkomende handshake is de keuze om wel of geen interrupts te gebruiken van belang. Als er in de gekozen taal met interrupts kan worden gewerkt, kan dat met deze interface gedaan worden. Als de taal het niet toestaat of als het programma zo eenvoudig mogelijk moet zijn, kan de binnenkomende handshake via een parallel invoerpoort ingelezen worden. Beide mogelijkheden werken goed met Busy, daarom kan dit signaal het beste voor binnenkomende handshake worden gebruikt. Deze kan namelijk op elk gewenst moment gewoon via een inputpoort ingelezen worden om te zien of er geprint kan worden. Acknowledge laat maar even iets van zich horen, daarna levert die lijn geen informatie meer over de toestand van de printer. Soms beschikken printerkabels slechts alleen over –Strobe en Busy als handshakelijnen. Als de binnenkomende handshake via interrupts werkt, kan het beste CA1 worden gebruikt. Een interrupt kan dan beantwoord worden met het lezen van alle statuslijnen op poort A, de flank detektie op CA1 wordt dan meteen gereset. De eigenschappen van Acknowledge en Busy samengevat:

- Acknowledge is een laaggaande puls die aangeeft dat het via strobe ingeklokte karakter ingelezen is en dat de printer weer nieuwe data kan aksepteren. De lengte van deze puls is per printer verschillend, maar altijd lang genoeg om de PIA6821 een interrupt te laten afgeven.
- Busy is een signaal met een aktief niveau. Als Busy hoog is, kan de printer geen nieuwe data aksepteren. Daarvoor kunnen diverse redenen zijn, sommige zijn in de printer programmeerbaar. Busy is altijd hoog als de printer het binnenkomende karakter aan het verwerken is. Busy kan ook hoog zijn als er een fouttoestand optreedt, zie de printerdokumentatie. Als Busy laag is kan er een karakter of instruktie naar de printer worden gezonden.

De statuslijnen die hierna ter sprake komen zijn niet van essentieel belang voor het printen. De binnenkomende signalen geven informatie over het funktioneren van de printer. De uitgaande kunnen de werkwijze van de printer bepalen. De funkties Init en AutoFeed kunnen als karakter(s) aan de printer worden doorgegeven. AutoFeed en Select zijn vaak ook via jumpers op de printer instelbaar. Op de meeste printers, zoals bijvoorbeeld de Epson FX80 en NEC-P6, komen de volgende statuslijnen voor (richting vanuit de computer gezien):

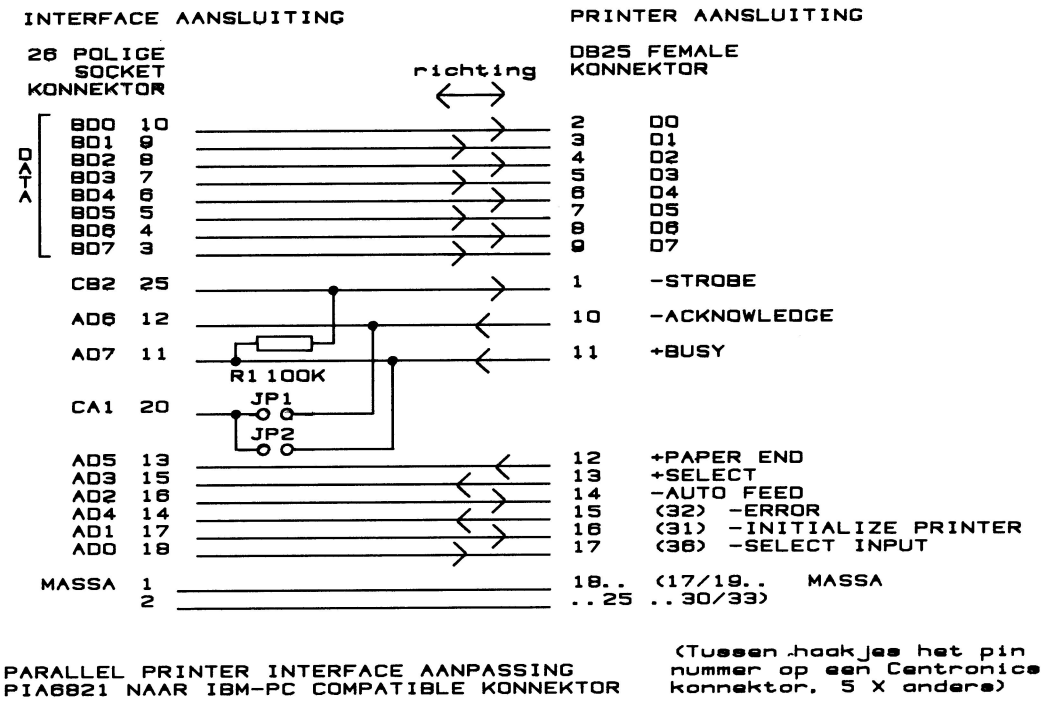
- in: Paper End, deze lijn wordt hoog als de printer geen papier meer ziet. Daarvoor zit in

de printer vaak een mikroschakelaar in het papierpad om te voelen of er nog papier is.
- in: Select, dit signaal is hoog als de printer gebruikt kan worden.
- in: −Error, deze lijn wordt laag aktief als er een fout is opgetreden. Het funktioneren wordt door de fabrikant van de printer bepaald. Vaak worden de volgende foutkondities doorgegeven; Papier op, Off-line en algemene fouten die het programma in de printer is tegengekomen.
- uit: −AutoFeed, als deze lijn laag is, zal er automatisch een regeltransport (LF=line feed) volgen als een regel met LF of CR (= carriage return) is afgesloten.
- uit: −Init(ialize) printer, via deze ingang kan de printer gereset worden; een printerbuffer wordt leeg gemaakt. Op de printer moet deze puls afhankelijk van merk en type zeer verschillende breedtes hebben, 50 μs is meestal lang genoeg.
- uit: −Select, als deze ingang van de printer laag is, zullen de ascii-kodes DC1 (17d) en DC3 (19d) geen effekt hebben. DC1 staat voor "select printer": de printer kan data aksepteren. En DC3 staat voor "deselect printer": de printer kan geen data ontvangen.

Deze statuslijnen kunnen met poort A ingelezen of bestuurd worden. Daarbij komt het goed van pas dat er bij de PIA6821 per bit ingesteld kan worden of het een ingang of een uitgang is. Om in elke Basic een snelle softwaretest mogelijk te maken, kan het belangrijkste binnenkomende signaal (= Busy) het beste met datalijn 7 van poort A verbonden worden.

De volgende figuur (5-X6) laat zien hoe de 26-polige eindkonnektor van de PIA6821 basiskaart met een 25-polige female sub-D-konnektor kan worden verbonden. De pennummering van de D-25 konnektor komt overeen met die van de parallel printerinterface op de IBM-PC serie en de Atari ST. Voor deze aansluiting zijn kabels naar de centronics printerkonnektor goed leverbaar. Slechts 5 status signalen en een aantal massalijnen verschillen bij de D-25 en de centronics konnektor van pennummer. In de tekening zijn de afwijkende pennummers op een centronics konnektor tussen haakjes aangegeven. Via jumper 1 en 2 kan gekozen worden of Busy of −Ack met handshake ingang CA1 wordt verbonden. Normaal zal jumper 2 verbonden zijn. Met het programma en op de PIA6821-kaart kan dan gekozen worden of er echt een interrupt naar de CPU verzonden kan worden. De weerstand van 100k zorgt ervoor dat er een hoog niveau op Busy staat als er helemaal geen printer is aangesloten. Deze weerstand heeft verder geen funktie. De statussignalen hoeven niet gebruikt te worden. Een minimale aansluiting bestaat uit de acht datalijnen, een verbinding van −Strobe met CB2 en verbindingen tussen AD7, CA1 en Busy.
Als de kabel lang is moet er een buffer tussen de uitgang van PIA6821 en de printerkonnektor geplaatst worden. Dat kan met een HCT645, zie de busbuffers. De poort- en de richtingingangen van dat IC kunnen aan massa worden gelegd. Vaak worden ook open-kollektor drivers gebruikt zoals de 7407. De uitgang wordt met een weerstand van 1kΩ aan de +5 V gelegd.
De massaverbindingen zijn bij een echte centronics verbinding voor elke signaalverbinding als return bij een gedraaide kabel aanwezig. Zie voor een uitleg daarvan het stuk over storing onderdrukking. Bij de D-25 konnektor zijn niet genoeg massa draden beschikbaar. Bij niet al te lange printerkabels is dat geen bezwaar. De pinnen 18 tot en met 25 van de D-25 konnektor moeten allemaal met de massa van de PIA6821 kaart verbonden worden.

5.8.10.2 Het printerdriver-programma
Het programma moet eerst de PIA6821 initialiseren. Kanaal B moet ingesteld worden op data-uitgang met CB2 als automatische uitgaande strobe. Voor het mode-woord moeten bit 2, 3 en 5 hoog zijn, dat is decimaal 44. Kanaal A moet ingesteld worden voor uitgaande data op bit 0, 1 en 2 en voor binnenkomende data op bit 3, 4, 5, 6 en 7. Verder kan gekozen tussen een wel of niet aktieve CA1-interruptingang. Daarbij moet de aktieve flank aan het gebruikte handshake signaal worden aangepast. Voor Busy is dat hoog naar laag. Eerst moet het richtingregister dus met de decimale waarde 7 ingesteld worden. Daarna kan een mode opgegeven worden waarbij CA1 wel of niet werkt door een mode-woord decimaal 5 of 4 naar adres 1 te schrijven.
Het printen bestaat uit het schrijven van een databyte naar poort B. Daarna moet gewacht worden tot de printer weer een karakter kan



Figuur 5-X6.

aannemen. Bij interrupt-werkwijze geeft de printer vanzelf een signaal via de handshakelijn (busy) dat er weer een karakter verzonden kan worden. Bij het afhandelen van zo'n interrupt moet datakanaal A gelezen worden om CA1 weer te resetten. Er kan ook met een testlus via poort A gekeken worden of Busy nog aktief is. Daarvoor moet poort A gelezen worden, waarna bit 7 wordt getest. Dat gaat heel eenvoudig, IF IN(poort A) >= 128 THEN Busy is aktief. Als Busy een tijd hoog blijft kan via de andere bits van poort A worden gezien of daar een duidelijke reden voor is zoals, papier op of printer off-line. Het is duidelijk dat de uitgaande statuslijnen bestuurd kunnen worden via een uitvoerinstruktie naar bit 0, 1 en 2 van poort A.

Het programmavoorbeeld is geschreven voor de IBM-PC in quickBasic. Er worden gewone opdrachten gebruikt die in elke Basic voorkomen. De test van de status kan natuurlijk ook met AND opdrachten uitgevoerd worden. Er wordt uitgegaan van |-Strobe via CB2 uitgaande handshake en Busy via poort A testen.

Programmavoorbeeld:

```
eerst:
DIM bit(0 TO 7)
start:
CLS : PRINT
PRINT ''Parallel printer interface met PIA6821  Demonstratie programma  V1.0''
PRINT
PRINT ''(C) 1989 MicroSource  Postbus 1243  8001BE Zwolle NL''
PRINT
```

```
INPUT ''Kaart nummer  0..7  '', kaart
REM de volgende regel is voor IBM-PC en moet voor een andere computer aangepast
worden.
krt = 768 + 1024 * kaart
REM zet einde van de regel standaard op ascii 10 (line feed)
er$ = CHR$(10)

menu:
CLS : PRINT
PRINT ''Printer interface demonstratie met PIA6821  V1.0'': PRINT
PRINT
PRINT ''Printen / Decimaal karakter / Einde regel / Kaartnummer / Stop*''; kx$;
'' '';
INPUT '''', ke$
IF ke$ = '''' THEN ke$ = kx$
kx$ = ke$
PRINT
IF ke$ = ''E'' OR ke$ = ''e'' THEN GOSUB ereg
IF ke$ = ''P'' OR ke$ = ''p'' THEN GOSUB zin
IF ke$ = ''D'' OR ke$ = ''d'' THEN GOSUB deci
IF ke$ = ''K'' OR ke$ = ''k'' THEN GOTO start
IF ke$ = ''S'' OR ke$ = ''s'' THEN END
GOTO menu

ereg:
REM met deze routine worden de einde van de regel karakters vastgesteld
PRINT
PRINT ''10 = Line Feed 12 = Form Feed 13 = Carriage Return''
PRINT
INPUT ''Eerste karakter als afsluiting van de regel 1..255 Enter =10  '', er1
IF er1 = 0 THEN er1 = 10
INPUT ''Tweede regel afsluit karakter Enter =sla over '', er2
REM de getallen worden nu omgezet in een ascii karakter
er$ = CHR$(er1)
er2$ = CHR$(er2)
REM er$ bestaat uit max 2 karakters voor afsluiten regel
IF er2 <> 0 THEN er$ = er$ + er2$
RETURN

deci:
PRINT
REM invoer decimale getal van het te printen ASCII karakter
INPUT ''Welke ascii karakter nummer printen  >255 terug''; ac
IF ac > 255 THEN RETURN
zin$ = STR$(ac) + er$
GOSUB pruit
RETURN

zin:
CLS : PRINT
REM invoer voor het printen van een zin
PRINT '' Geef een zin om te printen  xx =stop''
PRINT
PRINT '' ENTER = ''; zx$
```

```
PRINT
INPUT '' Nieuwe zin: '', zin$
IF zin$ = ''xx'' THEN RETURN
IF zin$ = '''' THEN zin$ = zx$
zx$ = zin$
zin$ = zin$ + er$
GOSUB pruit
RETURN
pruit:
REM het interface wordt nu geïnitialiseerd
GOSUB init
REM voor het oog wordt de status ingelezen, dit is niet nodig
GOSUB stat
REM bepaal het aantal keren dat een karakter geprint moet worden
lan = LEN(zin$)
REM de tekst letter voor letter opgehaald en in lt$ gezet
FOR x = 1 TO lan
lt$ = MID$(zin$, x, 1)
REM daarna wordt de ascii waarde van de letter in lt opgeslagen
lt = ASC(lt$)
REM kijk of de printer tekens kan ontvangen
lus1:
bus = INP(krt)
IF bus >= 128 THEN PRINT ''Busy ''; : GOTO lus1
REM print nu het karakter
OUT krt + 2, lt
REM zet het karakter ook op het scherm (niet nodig).
PRINT lt$;
REM ga nu naar het volgende karakter
NEXT x
RETURN

init:
REM initialiseren van het interface
OUT krt + 3, 0: REM kies richting registerkanaal b
OUT krt + 2, 255: REM zet alle bits op uitgang
OUT krt + 3, 44: REM kanaal b werkt met  strobe via CB2.
OUT krt + 1, 0: REM kies richting register  kanaal a
OUT krt, 7: REM maak bit 0, 1 en 2 uitgang
OUT krt + 1, 4: REM kanaal a werkt als TTLpoort
OUT krt, 0: REM reset printer
OUT krt, 7: REM printer aktief, strobe inaktief, select hoog.
RETURN

stat:
REM dit is een overbodige routine.
REM hiermee kan de status van de diverse lijnen gelezen worden
PRINT
PRINT ''Status register inlezen = '';
st = INP(krt)
PRINT st
REM status byte in 8-bits opdelen
FOR x = 7 TO 0 STEP -1
bit(x) = 0
```

```
IF st - 2   x >= 0 THEN st = st - 2   x: bit(x) = 1
NEXT x
PRINT
IF bit(7) = 1 THEN PRINT ''Busy is hoog, er kan niet geprint worden ''
IF bit(7) = 0 THEN PRINT ''Busy is laag, er kan geprint worden  ''
IF bit(6) = 1 THEN PRINT ''Acknowledge is hoog, er kan geprint worden ''
IF bit(6) = 0 THEN PRINT ''Acknowledge is laag, er kan niet geprint worden ''
IF bit(5) = 1 THEN PRINT ''Het papier is op''
IF bit(5) = 0 THEN PRINT ''Het papier is niet op ''
IF bit(4) = 0 THEN PRINT ''Er is een fout opgetreden  ''
IF bit(4) = 1 THEN PRINT ''De error ingang laat geen fout zien  ''
IF bit(3) = 1 THEN PRINT ''Printer is aangesloten en onder spanning ''
IF bit(3) = 0 THEN PRINT ''Printer is niet aangesloten of niet onder spanning ''
PRINT
INPUT ''ENTER = verder, X = nog een keer status lezen '', ve$
IF ve$ = ''X'' OR ve$ = ''x'' THEN GOTO stat
RETURN

END
```

5.8.10.2.1 Samenvatting printerprogramma.
In het kort komt het echte printen op het volgende neer. Daarbij is zin$ de zin om te printen. Daar moeten de afsluitkarakters linefeed (ascii 10d) en zo nodig return (ascii 13d) als laatste in voorkomen. De variabele krt is het basisadres van de PIA6821 kaart. Voor de duidelijkheid zijn hier programmaregelnummers gebruikt.

initialisatie van de PIA6821:
10 OUT krt + 3, 0 : OUT krt + 2, 255 : OUT krt + 3, 44 : OUT krt + 1, 0 : OUT krt, 7 : OUT krt + 1, 4 : OUT krt, 0 : OUT krt, 7

opbreken van een zin in de ascii waarde van de karakters, testen van Busy en printen van de karakters (8 regels!):

```
20 lan = LEN(zin$)
30 FOR x = 1 TO lan
40 lt$ = MID$(zin$, x, 1)
50 lt = ASC(lt$)
60 bus = INP(krt)
70 IF bus >= 128 THEN GOTO 60
80 OUT krt + 2, lt
90 NEXT x
```

5.9 PPI 8255A Parallel-I/O

De 8255A is het programmeerbare parallel-interface-IC uit de Intel 808X reeks. De 8255A beschikt over 24 I/O-pinnen die in twee groepen geprogrammeerd kunnen worden. De 8255 biedt de mogelijkheid om met bi-direktionele parallel in-/uitvoer te werken. Daarmee kan dynamische data-overdracht met een randapparaat gerealiseerd worden. De vier handshakelijnen waar we bij data-overdracht over kunnen beschikken ondersteunen dat ook goed. Daarnaast is in sommige gevallen het totale aantal van 24 parallel I/O-lijnen ook een doorslaggevende keuzefaktor voor de 8255. De handshake van de 8255 werkt ook anders dan bij de 6821. Dit kan de keus soms ook bepalen.

De elektrische (DC) eigenschappen van de poorten zijn:

Uit-laag	Vuit < 0,45 V / Iuit-< 1,7 mA
Uit-hoog	Vuit > 2,4 V / Iuit < -0,2 mA
In-laag	-0,5 V < Vin < 0,8 V Iin < +/- 10 μA
In-hoog	2 V < Vin < +5 VIin < +/- 10 μA

Poort B en C kunnen ook als darlington drivers gebruikt worden. Bij een basisweerstand van 750Ω en een basis-emitterspanning van 1,5 V kan er minimaal -1 mA (maximaal -4 mA) geleverd worden.

5.9.1 Inwendige opbouw

Het IC beschikt over 6 interne registers die op vier adressen bereikbaar zijn. Er zijn vier dataregisters, A, B, C hoog en C laag. C hoog en C laag zitten op het zelfde adres. De twee

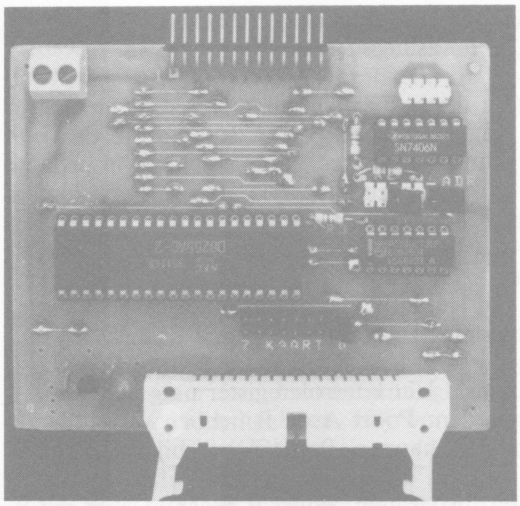


Foto 8. Het prototype van de PPI-kaart

kontroleregisters zitten ook op hetzelfde adres. In de praktijk hebben we dus vier registers, data A, B en C en kontrole. Er worden twee registerkeuzelijnen gebruikt om deze vier registers te adresseren.

Tijdens Lezen:

R0	R1	Register
0	0	Poort A naar databus
0	1	Poort B naar databus
1	0	Poort C naar databus
1	1	mag niet

Tijdens Schrijven:

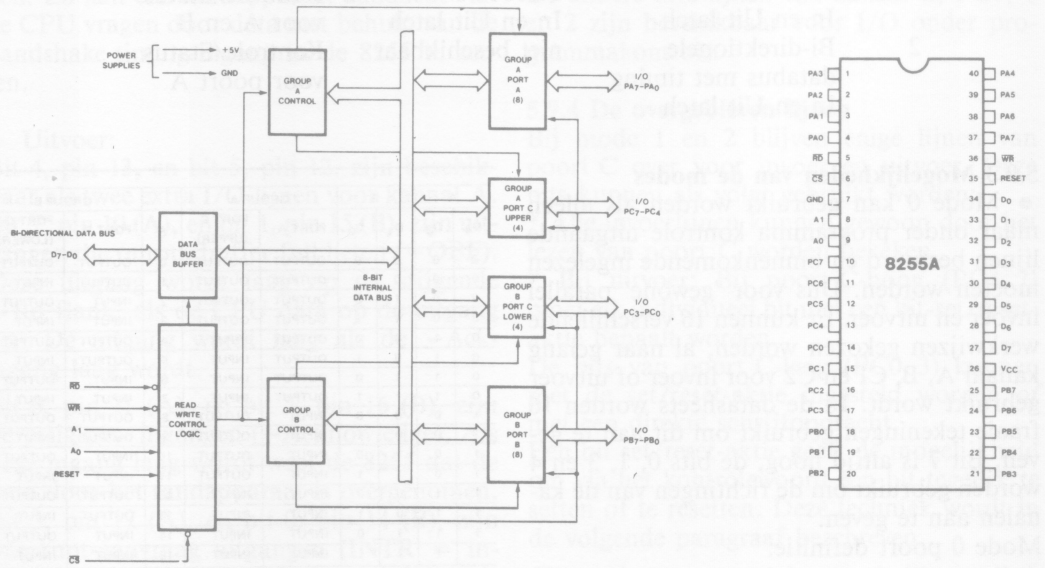
0	0	Databus naar Poort A
0	1	Databus naar Poort B
1	0	Databus naar Poort C
1	1	Schrijf in het kontroleregister

Hieronder de diverse registers met hun decimale adressen en bijbehorende Basic opdrachten.

OUT 3,X (X=>128)	Schrijf de werkwijze in het kontroleregister
OUT 3,X (X<128)	Set/reset bits van kanaal C
OUT 0,XXX	Schrijf data naar oort A
OUT 1,XXX	Schrijf data naar poort B (mode 0 en 1)
OUT 2,XXX	Schrijf data naar poort C (handshake)
OUT 3,XXX	Schrijf de werkwijze in het kontroleregister
X =IN(0)	Lees poort A
X =IN(1)	Lees poort B (alleen mode 0 en 1)
X =IN(2)	Lees poort C (I/O of handshake)

5.9.2 De werkwijzen

Er zijn drie werkwijzen te onderscheiden.



Figuur 5-X7. Het blokschema van de 8255A

In mode 0 kan van kanaal A en B voor alle 8-bits in een keer Invoer of Uitvoer ingesteld worden. Kanaal C kan per 4 bits op invoer of uitvoer gezet worden.

In mode 1 kan van kanaal A en B per 8-bits in een keer bepaald worden of ze voor in of uitvoer worden gebruikt. Kanaal C is in twee delen opgesplitst. Vier lijnen handshake voor kanaal A en vier voor kanaal B.

In mode 2 kan kanaal A als bi-direktionele databus worden gebruikt, terwijl van kanaal C vijf lijnen voor handshake worden gebruikt en drie voor I/O.

Mode 2 kan alleen voor kanaal A worden gekozen en geldt voor beide kanalen tegelijk. Mode 0 en 1 kunnen afzonderlijk voor kanaal A en B gekozen worden.

In het kort:
Mode 0 Basisinvoer en -uitvoer. 2 x 12 Databits.
Mode 1 Invoer en uitvoer onder timing. 2 x 9 Data + 3 Handshake.
Mode 2 Bi-direktionele databus. 8 Bi-dir. + 5 Handshake + 3 I/O.

Na reset zijn alle bits in het kontroleregister laag. Kanaal A, B en C staan op invoer, hun pinnen bevinden zich in hoog-impedante toestand. Als de werkwijze van een kanaal veranderd wordt, worden alle bits van dat kanaal gereset. De kontrole woorden worden naar kanaal A of B verzonden. De funktie van kanaal C wordt daar ook direkt mee ingesteld. Bij kanaal A horen de bits 4 t/m 7 van kanaal C, Bij kanaal B horen de bits 0 t/m 3. Het kontroleregister mag niet gelezen worden. Poort A en B hebben verschillende eigenschappen. Poort A beschikt over een 8-bit data uitvoerlatch (slot)/buffer en een 8-bit invoerlatch. Poort B beschikt over een 8-bit datainvoer-/-uitvoerlatch/buffer en een 8-bit data-invoerbuffer. Poort C bestaat uit een 8-bit data-uitvoerlatch/buffer en een 8-bit invoerbuffer. Kanaal C kan in twee delen van 4 bits worden verdeeld. Beide 4 bits poorten beschikken over een 4 bits latch en kunnen gebruikt worden voor handshake.

Een samenvatting van het bovenstaande:

Mode	Poort A	Poort B	Poort C
0	Basis Invoer/Uitvoer	Basis-I/O	Basis-I/O
	Uitgang latch	Uit latch	Uit latch
	Ingang geen latch	In transparant	In geen latch
1	Strobed-I/O	Strobed-I/O	Kontrole/Status
	In en Uit latch	In en Uit latch	voor A en B
2	Bi-direktionele	niet beschikbaar	Kontrole/Status
	databus met timing		voor poort A
	In en Uit latch		

5.9.3 Mogelijkheden van de modes

- Mode 0 kan gebruikt worden als alleen maar onder programma kontrole uitgaande lijnen bestuurd en binnenkomende ingelezen moeten worden. Dus voor 'gewone' parallel invoer en uitvoer. Er kunnen 16 verschillende werkwijzen gekozen worden, al naar gelang kanaal A, B, C1 en C2 voor invoer of uitvoer gebruikt wordt. In de datasheets worden 16 fraaie tekeningen gebruikt om dit aan te geven. Bit 7 is altijd hoog, de bits 0, 1, 3 en 4 worden gebruikt om de richtingen van de kanalen aan te geven.
Mode 0 poort definitie:

A		B		GROUP A			GROUP B	
D_4	D_3	D_1	D_0	PORT A	PORT C (UPPER)	#	PORT B	PORT C (LOWER)
0	0	0	0	OUTPUT	OUTPUT	0	OUTPUT	OUTPUT
0	0	0	1	OUTPUT	OUTPUT	1	OUTPUT	INPUT
0	0	1	0	OUTPUT	OUTPUT	2	INPUT	OUTPUT
0	0	1	1	OUTPUT	OUTPUT	3	INPUT	INPUT
0	1	0	0	OUTPUT	INPUT	4	OUTPUT	OUTPUT
0	1	0	1	OUTPUT	INPUT	5	OUTPUT	INPUT
0	1	1	0	OUTPUT	INPUT	6	INPUT.	OUTPUT
0	1	1	1	OUTPUT	INPUT	7	INPUT	INPUT
1	0	0	0	INPUT	OUTPUT	8	OUTPUT	OUTPUT
1	0	0	1	INPUT	OUTPUT	9	OUTPUT	INPUT
1	0	1	0	INPUT	OUTPUT	10	INPUT	OUTPUT
1	0	1	1	INPUT	OUTPUT	11	INPUT	INPUT
1	1	0	0	INPUT	INPUT	12	OUTPUT	OUTPUT
1	1	0	1	INPUT	INPUT	13	OUTPUT	INPUT
1	1	1	0	INPUT	INPUT	14	INPUT	OUTPUT
1	1	1	1	INPUT	INPUT	15	INPUT	INPUT

Figuur 5-X8.

- Mode 1 kan gebruikt worden om met twee

kanalen en handshake te werken. Per kanaal kan voor invoer of uitvoer gekozen worden. De lijnen van kanaal C hebben bij in- of uitvoer verschillende (interrupt- en handshake-) funkties.

– Invoer:
Bit 4, pin 13 (A), en bit 2, pin 16 (B), werken als 'timing' ingang, ze heten dan ook Strobe-input. Als deze lijn laag wordt, wordt data van buiten ingelezen.
Bit 5, pin 12 (A), en bit 1, pin 15 (B), heten Input Buffer Full. Dit is een uitgang, hij wordt hoog als er data door het timingsignaal op pin 13 of 16 is ingelezen. Hij wordt laag als de data door de CPU is gelezen (stijgende flank van de –Rd ingang).
Bit 3, pin 17 (A), en bit 0, pin 14 (B), zijn interruptaanvraag uitgangen. Hier komt de funktie van de bitset/-reset-mode van het kontrolebyte aan de orde. Deze interruptuitgang wordt hoog als; de strobe-ingang, de buffer-vol-uitgang en het interruptbit, allemaal hoog zijn. De interruptbits zijn flags die gebruikt worden om aan te geven of een bepaald kanaal een interrupt mag veroorzaken. Kanaal A wordt met bit 4 bestuurd, kanaal B met bit 2. Om dit te doen moeten we dus een kontrolebyte schrijven met bit 7 op nul. Deze twee uitgangen kunnen via een open-kollektorbuffer met één of beide interruptlijnen van de mikrobus verbonden worden. Zo kan een randapparaat aandacht van de CPU vragen door data met behulp van de handshake-timing-ingang in de 8255 te zetten.

– Uitvoer:
Bit 4, pin 13, en bit 5, pin 12, zijn beschikbaar als twee extra I/O-lijnen voor kanaal A.
Bit 7, pin 10 (A), en bit 1, pin 15 (B), zijn uitgangen die output buffer full heten (–OBF). Deze uitgang wordt laag op de stijgende –Rd flank, als de CPU data op de uitgang zet. De uitgang wordt laag als de –Ack-ingang laag wordt.

Bit 6, pin 11 (A), en bit 2, pin 16 (B), zijn bevestigings- ingangen (–Acknowledge). Als deze ingang laag wordt weet de 8255 dat de data door het randapparaat is overgenomen.
Bit 3, pin 17 (A), en bit 0, pin 14 (B), zijn interrupt-aanvraag uitgangen (INTR = interrupt request). Deze uitgang wordt hoog als aan de volgende voorwaarden wordt voldaan; De –ACK-ingang is hoog, –OBF is hoog en het interrupt set/reset bit PC6 of PC2 is hoog. Zie het verhaal over de interrupt bij de ingang.

- Bij mode 2 kan men beschikken over vier handshakelijnen en een interruptuitgang. Sommige worden gebruikt bij het invoeren van data andere bij het uitvoeren van data.
Betrokken bij de uitvoer van de data zijn:
–OBF (output buffer full), uitgang om aan te geven dat er data door de CPU is geschreven. (Bit 7, pin 10).
–ACK (acknowledge), ingang waarlangs de randschakeling aangeeft dat er data van de poort is overgenomen. (Bit 6, pin 11).
Kontrolebit 6 (INTE 1) is ook van belang omdat het de interruptmogelijkheid van –OBF bepaalt.
Betrokken bij de invoer van data vanaf het randapparaat zijn:
–STB (strobed input), als deze ingang laag wordt, zal de data op de ingang door de 8255 overgenomen worden. (Bit 4, pin 13).
IBF (input buffer full), deze uitgang geeft aan dat er data door de randschakeling is ingelezen. (Bit 5, pin 12).
Kontrolebit 4 (INTE 2) bepaalt of IBF een interrupt naar de computer veroorzaakt.

De interruptuitgang naar de bus zit op bit PC3, pin 17.

De andere drie lijnen van kanaal C, PC0, 1 en 2 zijn beschikbaar voor I/O onder programmakontrole.

5.9.4 De overgebleven lijnen
Bij mode 1 en 2 blijven enige lijnen van poort C over voor invoer en uitvoer. Deze bits kunnen als volgt gebruikt worden:
* Alle invoerlijnen kunnen gewoon door het lezen van poort C worden bekeken.
* Bij uitvoer: Bij poort C-hoog (PC4..7) moet elk individueel bit met een bit-set/reset-aktie bepaalt worden.
De bits van poort C-laag (PC0..3) kunnen met de set/reset-aktie ingesteld worden *of* met een direkte schrijfopdracht.
Een bit set/reset-aktie geeft de mogelijkheid om via het kontrolewoord één bit tegelijk te setten of te resetten. Deze techniek wordt in de volgende paragraaf beschreven.

Hieronder een overzicht van de lijnen bij de diverse werkwijzen.

	MODE 0		MODE 1		MODE 2
	IN	OUT	IN	OUT	GROUP A ONLY
PA_0	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA_1	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA_2	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA_3	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA_4	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA_5	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA_6	IN	OUT	IN	OUT	↔
PA_7	IN	OUT	IN	OUT	↔
PB_0	IN	OUT	IN	OUT	—
PB_1	IN	OUT	IN	OUT	—
PB_2	IN	OUT	IN	OUT	—
PB_3	IN	OUT	IN	OUT	—
PB_4	IN	OUT	IN	OUT	—
PB_5	IN	OUT	IN	OUT	—
PB_6	IN	OUT	IN	OUT	—
PB_7	IN	OUT	IN	OUT	—
PC_0	IN	OUT	$INTR_B$	$INTR_B$	I/O
PC_1	IN	OUT	IBF_B	$\overline{OBF}_B$	I/O
PC_2	IN	OUT	$\overline{STB}_B$	$\overline{ACK}_B$	I/O
PC_3	IN	OUT	$INTR_A$	$INTR_A$	$INTR_A$
PC_4	IN	OUT	$\overline{STB}_A$	I/O	$\overline{STB}_A$
PC_5	IN	OUT	IBF_A	I/O	IBF_A
PC_6	IN	OUT	I/O	$\overline{ACK}_A$	$\overline{ACK}_A$
PC_7	IN	OUT	I/O	$\overline{OBF}_A$	$\overline{OBF}_A$

MODE 0 OR MODE 1 ONLY

899007 - 5 - X9

Figuur 5-X9.

5.9.5 Het kontrolewoord

Het mode-kontrolewoord zit als volgt in elkaar:
Bit 0, 1 en 2 gelden voor poort B
Bit 3, 4, 5 en 6 gelden voor poort A
Met bit 7 wordt aangegeven of het een mode-kontrole- of bit set/reset-woord is.

Bit	Dec	Betekenis	Laag (0)	Hoog (1)
0	1	Poort C bit 0..4	Uitvoer	Invoer
1	2	Poort B	Uitvoer	Invoer
2	4	Mode poort B	Mode 0	Mode 1
3	8	Poort C bit 5..7	Uitvoer	Invoer
4	16	Poort A	Uitvoer	Invoer
5	32	Poort A Mode 0/1 of 2	Mode 0/1	Mode 2
6	64	Als bit 5 =1 Mode 0 of 1	Mode 0	Mode 1
7	128	Mode of Bit set/reset	Bit set/reset	Mode-woord

5.9.5.1 Er bestaan eigenlijk twee verschillende mode-woorden. Met bit 7 wordt bepaald of de rest van het mode-woord bedoeld is om de werkwijze in te stellen of om de bits voor de interrupt enable/disable te zetten. Bij de Set/Reset mode van kanaal C wordt het kontrolebyte als volgt opgebouwd:

Bit	0		0 = Reset bit, 1 = Set bit.
Bit	3, 2 en 1		Binaire kode van te beïnvloeden bit.
	0 0	0	0
	0 0	1	1
	0 1	0	2
	0 1	1	3
	1 0	0	4
	1 0	1	5
	1 1	0	6
	1 1	1	7
Bit	4, 5 en 6		Zet op 0, worden niet gebruikt.
Bit	7		Zet op 0 voor bit set/reset mode.

Dus een decimaal set/reset kontrolewoord is altijd kleiner dan 128 en er komen alleen veelvouden van 1, 2, 4 en 8 in voor. Er kan ook maar één bit tegelijk bewerkt worden.

5.9.5.2 Om met het IC te kunnen werken moet eerst een mode-woord in het kontroleregister gezet worden. Een paar programmavoorbeelden:

```
OUT 3,128 Zet alle kanalen op uitvoer in
          Basic I/O-mode (0).
OUT 0,X   Schrijf waarde X naar ka-
          naal A
OUT 1,Y   Schrijf waarde Y naar kanaal B
OUT 2,Z   Schrijf waarde Z naar kanaal C

OUT 3,155 Zet alle kanalen op invoer in
          Basic I/O-mode (0).
X =INP(0) Lees kanaal A
Y =INP(1) Lees kanaal B
Z =INP(2) Lees kanaal C

OUT 3,153 Kanaal A en C invoer, B uit-
          voer in mode 0.
X = IN(0) Lees kanaal A
OUT 1,Y   Schrijf waarde Y naar kanaal B
Z = IN(2) Lees kanaal C

OUT 3,144 Kanaal A invoer, B en C uit-
          voer in mode 0.
X = IN(0) Lees kanaal A
OUT 1,Y   Schrijf naar kanaal B
OUT 2,Z   Schrijf naar kanaal C
```

5.9.6 De kaart

De eigenlijke hardware is weer minimaal. Met de twee OF-poorten van IC2 worden de –Lees- en –Schrijfsignalen van timing voorzien, waarmee vervolgens de lees- en schrijfingangen van het IC worden aangestuurd. Via een inverter wordt het –Resetsignaal positief aktief gemaakt, zoals de 8255 het wil. Met de overgebleven OF-poorten en inverters kan op eenvoudige wijze voor extra adresdekodering gezorgd worden. Als er meer dan één kaart per kaartkeuzesignaal aangesloten moet worden, kan hiervan gebruik worden gemaakt. Als dat niet nodig is kunnen jumper 1 en 4 beter gesloten zijn.

Alhoewel de interruptgeneratie door het programma bepaald wordt, zijn er toch jumpers naar –INT en –NMI gelegd. Daarmee kan gekozen of een kanaal een interrupt door kan geven en aan welk interruptkanaal dat gebeurd. Als het programma niet op interrupts is berekend kunnen de jumpers 7 tot en met 10 het beste open blijven.

5.9.7 Eindkonnektor

Bij de bespreking van de eindkonnektor van de TTL-poort in 5.7.7 en die van de PIA6821 in 5.8.9 is de aanbevolen eindkonnektor al aan bod gekomen. De aanbevolen pinnummering is in de volgende figuur nog eens weergegeven.

0V	B6	B4	B2	B0	A6	A4	A2	A0	C	C	C	C
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
0V GND	B7	B5	B3	B1	A7	A5	A3	A1	C	C	C	C
		UITVOER				INVOER			HANDSHAKE / INT			

KAART	PIN NR 3..10	PIN NR 11..18	PIN NR 19..26
TTLPOORT	UIT 7..0	IN 7..0	niet gebruikt
PIA6821	KAN B 7..0	KAN A 7..0	HANDSHAKE - INTERRUPT
PPI8255	KAN B 7..0	KAN A 7..0	I/O - HANDSHAKE - INT

Kanaal C	enigszins overeenkomende handshake & interrupt						
Pin Nr	6821 pin	naam	8255 pin	Mode 0 I/O	Mode 1 IN	Mode 1 UIT	Mode 2 I/O
19	39	CA2	10	Data7	I/O	-OBFa	-OBFa
20	40	CA1	11	D6	I/O	-ACKa	-ACKa
21	x	X	12	D5	IBFa	I/O	IBFa
22	x	X	13	D4	-STBa	I/O	-STBa
23	(38)	INTA	17	D3	INTRa	INTRa	INTRa
24	18	CB1	16	D2	-STBb	-ACKb	I/O
25	19	CB2	15	D1	IBFb	-OBFb	I/O
26	(37)	INTB	14	Data0	INTRb	INTRb	I/O

Aanbevolen pin nummering parallel poort eindkonnektor.
26 polige male header strip.
Nummering vanaf de komponentzijde, zie tekening.

Figuur 5-X10.

5.10 PIT 8253 Teller

De PIT 8253 teller is een van de belangrijkste basiskaarten van het Mikrosysteem. Met dit interface kan op eenvoudige wijze met zeer grote nauwkeurigheid gemeten en geregeld worden. Hij wordt gebruikt voor PWM-motorsturing, stappenmotorsturing, 220V-proportionele regeling, als uiterst nauwkeurige en integrerende analoog-/digitaal-konverter, frekwentiemeter, enzovoorts. De hardware is uiterst eenvoudig, de gebruiksmogelijkheden zijn groot. Zie ook het tweede boek voor een groot aantal toepassingen.

5.10.1 Kenmerken van de PIT 8253A

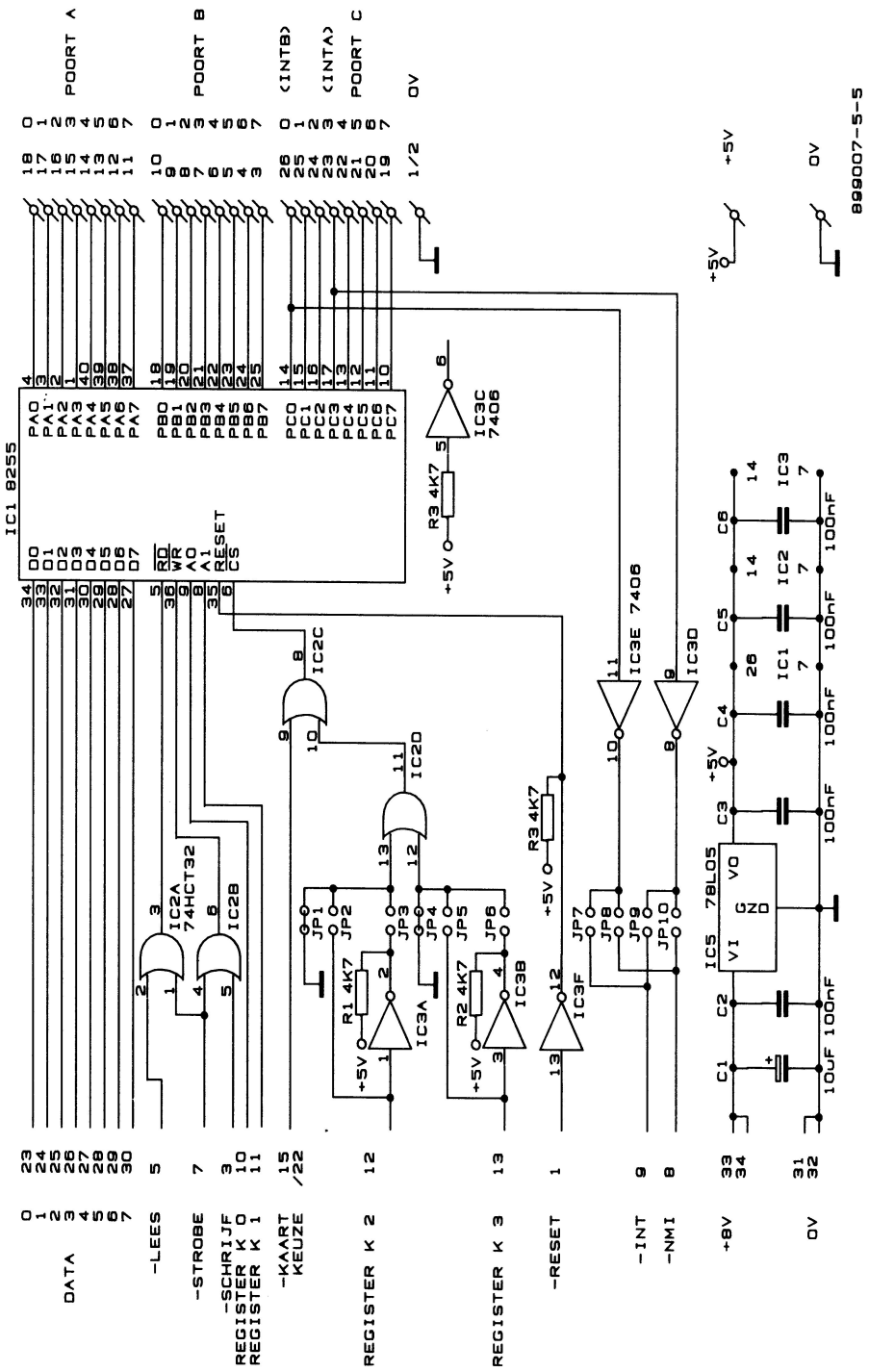
De chip heeft drie kanalen met elk een 16-bits timer/teller.
Elk kanaal heeft een Klok-ingang, Poort-ingang en een Uitgang.
Er zijn negen interne registers. Per kanaal één mode-register en twee dataregisters.
Er worden vier adressen gebruikt, een voor de mode-registers en drie voor de dataregisters van de kanalen. Elk kanaal heeft dus één adres voor de twee data registers. En alle mode-registers zitten op één adres.
De adressen van de registers zijn:

Basisadres van de kaart +	A1	A0	Register
0	0	0	Teller 0
1	0	1	Teller 1
2	1	0	Teller 2
3	1	1	Controle register

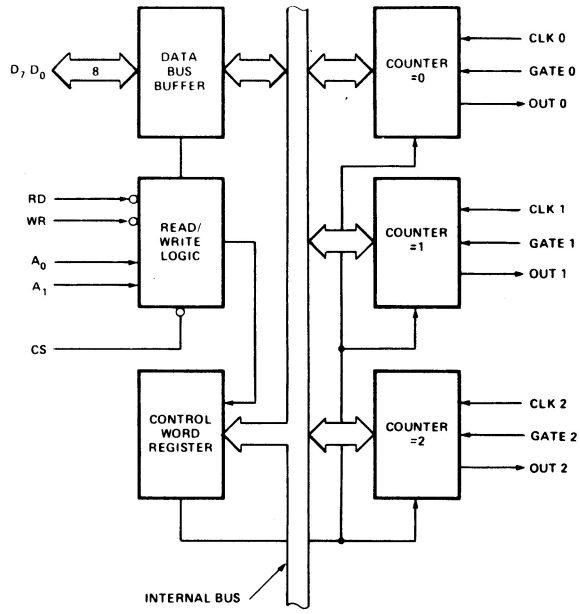
Het IC gebruikt maximaal 140 mA en kan 1 W vermogen verwerken.
De 8253 heeft andere elektrische eigenschappen dan de 8253-5 en 8253-2. De in- en uitgangen van de laatste twee hebben de volgende eigenschappen:

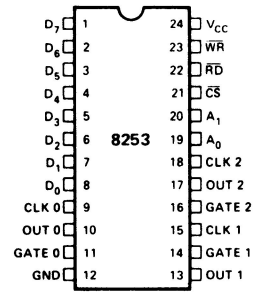
IN	Hoog	>2,2 V	0,01 mA
IN	Laag	<0,8 V	0,01 mA
UIT	Hoog	>2,4 V	0,4 mA
UIT	Laag	<0,45 V	2,2 mA

Timing eigenschappen diverse types Programmable Interval Timer:



Figuur 5-5. Schema van de parallelpoort met PPI8255





Figuur 5-XII.

Type	Lees-/Schrijfpuls	Ingangsklok, minimale periodetijd tot DC: $t_{hoog}+t_{laag}+t_{flanken}$..DC
8253	≥400 ns	≥230+150 ns ≤ 2,6 MHz
8253-5	≥300 ns	≥230+150 ns ≤ 2,6 MHz
8253-2	≥150 ns	≥90+90+10 ns ≤ 5 MHz
8254	≥150 ns	≥60+60+80 ns ≤ 5 MHz
8254-5	≥150 ns	≥60+60+5 ns ≤ 8 MHz
8254-2	≥ 95 ns	≥30+50+20 ns ≤ 10 MHz

De PIT 8254 is een uitgebreide, pin-compatible versie van de PIT 8253. Alle software voor de 8253 loopt ook op de 8254. De PIT 8254 kan dus zonder enige wijziging op de basiskaart geplaatst worden en met alle voor de 8253 geschreven programma's worden gebruikt. De 8254 is geschikt voor hogere snelheden en kent de mogelijkheid om de status van de tellers te lezen. Zo kan ook de toestand van de drie uitgangspinnen door het programma getest worden. In een aantal toepassingen kan dat het gebruik van een parallel-invoerpoort vervangen.

Gebruik van de PIT.
De PIT heeft geen resetaansluiting en ook geen default mode. Als er geen mode is opgegeven nadat er spanning op het IC is gezet, gebeurt er niets. Om een kanaal te laten werken, moet dus eerst een mode-woord voor het betreffende kanaal in het mode-register worden geschreven. Daarna kan de data worden geschreven of gelezen. De teller-dataregisters moeten worden geladen zoals is opgegeven in het mode-woord. Over het algemeen zullen van de teller beide bytes van het 16-bits woord worden gebruikt. Als dan data van of naar de tellerregisters getransporteerd moet worden, moet dat in de goede volgorde gebeuren. Eerst het LSB (het byte van 0...255) dan het MSB (stappen van 256). De tellerwaarden hoeven niet direkt na het mode-woord of na elkaar te worden geschreven. Als teller-databyte 1 is geschreven, moet byte 2 wel eerst een keer volgen voor die teller kan worden gelezen. Bij verschillende modes start de teller als het laatste (=eerste of tweede) databyte naar het tellerregister is geschreven.

Om de inhoud van een teller te lezen kan die het beste eerst via een speciaal mode-woord in het interne register worden 'bevroren'. Bij de modes 0, 2, 3 en 4 kan ook stabiel gelezen worden als de poortingang laag wordt gehouden.
De tellers beginnen altijd vanaf de opgegeven waarde af te tellen tot nul. Er wordt dus afgeteld vanaf de waarde die door het schrijven van de data in het teller-dataregister is gezet. Als de teller op nul komt wordt de aktie die door de mode is opgegeven ondernomen. Dit komt altijd neer op het reageren van de uitgang. Om bijvoorbeeld bij frekwentiemetingen het maximale aantal te kunnen tellen, moet de waarde 0 in het tellerregister geschreven worden, er kunnen dan 65536 perioden van de klok met die teller worden geteld. De klok moet eerst een stijgende flank laten zien. Na de daarop volgende dalende flank zal de teller op stand 65535 staan. De verhouding tussen de flanken van de klok, het moment van schrijven van de teller data, de poortingang en de uitgang is te zien in de zes mode-tekeningen (5-X12). Er moet rekening worden gehouden met het effekt van de variabele vertraging van maximaal één klokcyclus aan het begin van de telling. Bij tellingen uit zich dat in een telfout van plus of min één. Bij regeltoepassingen moet daar erg goed op gelet worden. Bij de toepassingen in boek 2 komen we dat weer tegen.

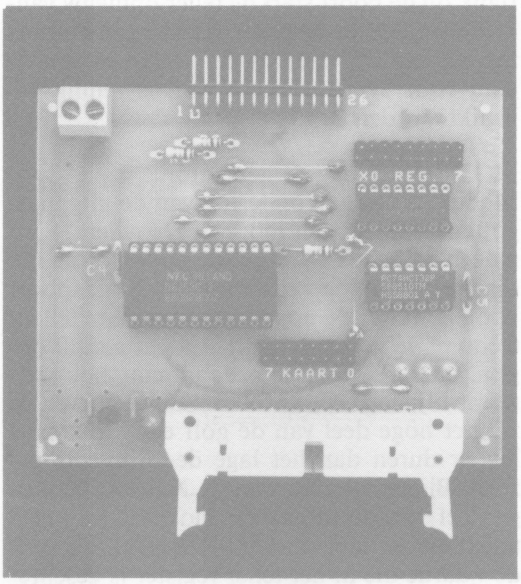


Foto 9. Prototype van de PIT-kaart

5.10.2 Het mode-woord

Om het mode-woord 'samen te stellen' moeten de volgende vier keuzes gemaakt worden. Achter de keuze staat steeds de bijbehorende decimale waarde. Het mode-woord kan worden samengesteld door de gebruikte waarde bij elkaar te tellen.

1) Data formaat:
(Bit 0. Decimale waarde is 0 of 1)
* Binair (max teller is 2^{16}) 0
* B.C.D. binair gekodeerd decimaal (max = 10^4) 1

2) Mode:
(Bit 1, 2 en 3. Decimale waarde is Mode x 2)
* Mode 0 Interrupt op teller = 0 0
* 1 Programmeerbare one-shot 2
* 2 Frekwentiedeler 4
* 3 Blokgolfuitgang, frekwentiedeler 6
* 4 Software gestarte puls 8
* 5 Hardware gestarte puls 10

3) Lees- en schrijfvolgorde data:
(Bit 4 en 5. Decimale waarde is veelvouden van 16)
Houdt de data vast voor lezen 0
* Alleen het LSB (byte 0...255) 16
* Alleen het MSB (most significant byte) (byte 256..64k) 32
* Eerst LSB dan MSB (eerst 0...255 dan X*256 tot 64k) 48

4) De teller waar het mode-woord voor bestemd is:
(Bit 6 en 7. Decimale waarde is Teller nummer * 64)
* Teller 0 0
* Teller 1 64
* Teller 2 128

In het volgende worden de verschillende keuze mogelijkheden toegelicht.

- Keuze 1, DATA FORMAAT

De keuze tussen BCD (Binary Coded Decimal) en Binair zal over het algemeen voor binair uitvallen. Binair kunnen we maximaal 2^{16} (65.536) klokcyclussen tellen, bij BCD is dat 10^4 (10.000).

- Keuze 2, de MODE:

Als we een bepaalde werkwijze (mode) kiezen, moeten we bezien welke eisen er worden

gesteld aan het uitgangssignaal en de relatie daarvan tot de klok- en poortingang. Daarvoor is in eerste instantie de in figuur 5-X12 weergegeven samenhang tussen KLOK en UITGANG van belang. De tekeningen van de zes modes zijn een belangrijk hulpmiddel bij het bepalen van de juiste mode. Daarnaast is er een extra overzicht gemaakt van de gevolgen van de poortingang.
Dit moet het kiezen voor de juiste werkwijze vergemakkelijken.

- De KLOK-ingang en de UITGANG.

Een klokpuls bestaat in dit geval uit een stijgende flank gevolgd door een dalende flank (in die volgorde!). De tellerstand verandert op de dalende klokflank. Nieuwe presetwaarden worden ook op de dalende klokflank door een tellerregister overgenomen. De uitgang reageert met een per type PIT verschillende vertraging van maximaal 400 ns op de geprogrammeerde wijze.

Het maximale telbereik (2^{16} of 10^4) wordt verkregen met waarde 0 in het tellerregister. Voor de modes 0, 1, 4 en 5 is tellerstand 1 de kortst mogelijke telling, voor mode 2 en 3 is dat 2.
De tellers stoppen niet als tel 0 bereikt is. In de modes 0, 1, 4 en 5 start de teller na tel 0 vanaf de tellerstand: FFFF voor binair tellen en 9999 voor BCD. In mode 2 en 3 start de teller na tel 0 vanaf de waarde die in het tellerregister is geschreven.

Een (kleine) negatieve spanningspiek op de klok-ingang kan tot gevolg hebben dat de timer geherprogrammeerd moet worden.
In de figuren is te zien welke samenhang er tussen klok, poort en uitgang bij de diverse werkwijzen bestaat.

5.10.2.1 PIT-modes
De zes werkwijzen in het kort beschreven:

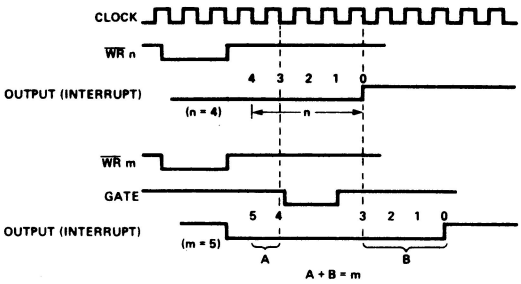
MODE 0 - Interrupt op teller 0.
De uitgang wordt laag als de mode is gezet. Als de data in het tellerregister is gezet begint de teller te lopen, de uitgang blijft laag. De uitgang wordt hoog als de teller op 0 komt. De uitgang blijft hoog tot de teller opnieuw wordt geladen, of de mode opnieuw wordt gezet. De teller blijft na 0 doorlopen. Als de poort hoog is, loopt de teller niet. Als er tijdens de telling data naar de tellerregisters wordt geschreven heeft dat de volgende gevolgen:
Na het schrijven van de eerste byte stopt de teller.
Na het schrijven van de tweede byte begint de teller vanaf de nieuwe waarde terug te tellen naar nul.

MODE 1 - Programmeerbare one-shot
De uitgang is hoog na het schrijven van het mode-woord en wordt laag op de eerste tel na een stijgende flank op de poortingang. Als de teller op 0 is aangekomen wordt de uitgang hoog. De teller begint na elke stijgende flank op de poort (opnieuw) te tellen, hij kan dus steeds opnieuw gestart worden. De tellerwaarde kan altijd worden gelezen zonder de telling te beïnvloeden. Als een nieuwe waarde in de teller wordt gezet, heeft dat pas invloed na de volgende stijgende flank op de poort.

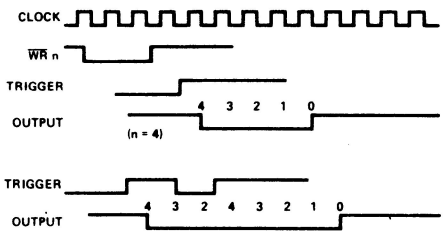
MODE 2 - Frekwentie deler
Nadat de mode is gezet, is de uitgang hoog. Na het schrijven van de teller waarde, begint de teller te tellen. De uitgang wordt op elke tel 1 gedurende een klok periode laag. Daarna begint de telling steeds opnieuw vanaf de in de teller registers geschreven waarde. Het schrijven van een nieuwe teller waarde beïnvloedt de volgende telling pas. Als de poort laag is, is de uitgang hoog. Bij een stijgende flank op de poort start de teller opnieuw vanaf de waarde in de teller registers. De poort ingang kan dus evenals het schrijven van de data voor synchronisatie van de telling gebruikt worden.

MODE 3 - Blokgolf generator
Mode 3 is met uitzondering van de uitgangsgolfvorm gelijk aan mode 2. De teller begint na een stijgende flank op de poort, of na het schrijven van de tellerwaarde als de poort hoog is, vanaf de opgegeven waarde te tellen. Gedurende de eerste helft van het aantal opgegeven klokcyclussen is de uitgang hoog, de rest is hij laag. Als de teller waarde oneven is, zal het hoge deel van de golf een klokcyclus langer duren dan het lage deel. Anders gezegd: Bij een oneven waarde N duurt het hoge deel van de uitgaande blokgolf $(N+1)/2$ tellen en het lage deel $(N-1)/2$. Daarbij is N de waarde die in het teller register is geschreven. Nog preciezer: Als er een oneven teller

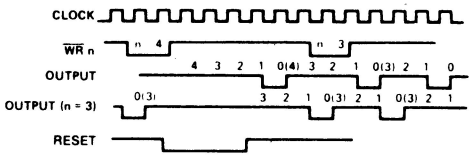
MODE 0: Interrupt on Terminal Count



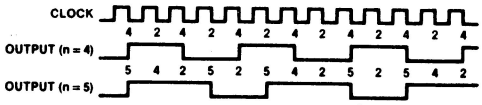
MODE 1: Programmable One-Shot



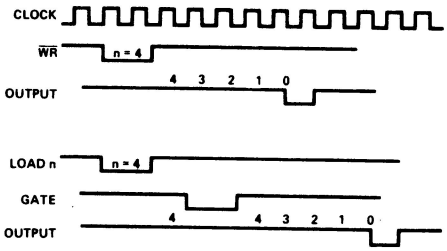
MODE 2: Rate Generator



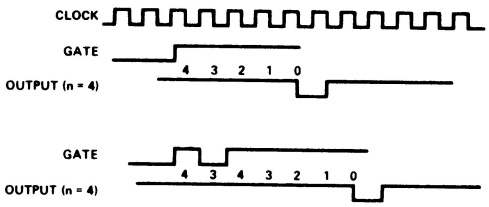
MODE 3: Square Wave Generator



MODE 4: Software Triggered Strobe



MODE 5: Hardware Triggered Strobe



Figuur 5-X12. De PIT-modes

stand wordt opgegeven en de uitgang is hoog, dan zal de eerste klokcyclus de tellerstand met een verlagen. Elke volgende klokcyclus verlaagt de teller met 2. Als de tellerstand 2 is, wordt de uitgang laag en de teller begint weer vanaf de opgegeven waarde. De eerste klok cyclus zal de tellerstand met drie verlagen, elke volgende met 2 tot tellerstand nul weer is bereikt.

MODE 4 - Software-gestarte puls
De uitgang is hoog nadat het mode-woord is geschreven. De teller start na het schrijven van de teller data. De uitgang wordt gedurende een klokperiode laag als de teller bij 0 is aangekomen. Als er een nieuwe waarde in de tellerregisters wordt geschreven, start de teller direkt daarna vanaf die nieuwe waarde. Als de poortingang laag is, stopt de teller.

MODE 5 - Hardware-gestarte puls.
Na het zetten van de mode is de uitgang hoog. Een stijgende flank op de poortingang start de teller. Als de teller bij nul is aangekomen, wordt de uitgang gedurende een klokperiode laag. Bij de volgende stijgende flank start de teller opnieuw.

5.10.2.2 De POORT-ingang bij de diverse werkwijzen

De poortingang wordt altijd op de stijgende flank van de klok ingelezen, waarna aktie plaats vindt. Bij de flank-gevoelige werkwijzen wordt een interne flipflop getriggerd door een stijgende flank op de poortingang. Deze flipflop wordt tijdens de stijgende flank van de klok uitgelezen en direkt daarna gereset.
De invloed van de poortingang is op diverse manieren te onderscheiden.
In de eerste plaats naar de invloed van het niveau op de poort en de invloed van de stijgende flank. Als de poort invloed heeft, komt die in ieder geval neer op het onderstaande. Daarnaast kunnen een laag niveau of een stijgende flank nog andere invloed hebben (zie mode 1, 2 en 3).NIVEAU: LAAG = STOP (disable), HOOG = TEL (enable).
Als het niveau invloed heeft, is het altijd zo dat een laag niveau op de poort het tellen stopt. Een hoog niveau op de poort laat de telling voortgaan.
FLANK: STIJGEND = START TELLEN.
Als de flank invloed heeft, is het altijd zo dat de stijgende flank het tellen (her-)start. Een dalende flank heeft dezelfde gevolgen als een laag niveau.

De werking van de poortingang bij de verschillende modes kunnen we ook nog op de volgende drie manieren onderscheiden:

POORT -stelt het tellen uit, tellen gaat vanaf oude stand verder.
START -start tellen vanaf laatste waarde die in het tellerregister is geschreven.
RESET -stopt het tellen en start vanaf de laatste waarde die in het tellerregister is geschreven en zet de uitgang onmiddellijk hoog.

De werking van de poort bij de 6 modes samengevat:

Mode	Funktie	Niveau	Flank	Andere invloeden van de poort
0	poort	ja	nee	nee
1	start	nee	ja	flank reset de uitgang na de volgende klok
2	reset	ja	ja	niveau laag zet uitgang onmiddelijk hoog, flank start teller vanaf nieuwste waarde
3	reset	ja	ja	niveau laag zet uitgang onmiddelijk hoog
4	poort	ja	nee	nee
5	start	nee	ja	nee

5.10.2.3 Keuze drie, INLEESVOLGORDE DATA
Hiermee geven we op hoe de volgende data met een teller gelezen of geschreven wordt. Deze keuze geeft de mogelijkheid om het programma zo snel mogelijk te laten werken.

Als de datavolgorde op is gegeven, blijft die voor die teller geldig tot er weer een nieuwe werkwijze in het kontroleregister is gezet. Over het algemeen zal de data altijd als twee opeenvolgende bytes worden gelezen of geschreven. Maar we kunnen er ook voor kie-

zen om alleen een byte te lezen of te schrijven. Een voorbeeld is de proportionele 220 V-regeling, deze kan zo ingesteld worden dat we precies over 256 waardes om te regelen beschikken. De stand kan dan met één byte in worden gesteld. Dit komt de snelheid van het programma ten goede.

De beide bytes worden respektievelijk het Most Significant Byte en het Least Significant Byte genoemd.
Significant staat voor betekenisvol. Een 16-bits getal wordt met twee bytes aangegeven, het byte dat het meest betekenisvol is heet Most Significant Byte. Als hiervan het laagste bit veranderd, heeft dat meteen een decimale verandering van 256 tot gevolg. Het Least Significant Byte heeft de kleinste invloed en bepaalt de fijnere gradatie, waarbij de stappen 1/256 deel zijn van de stappen die het MSB veroorzaakt.

Lezen tijdens tellen
Via de twee bits die bij keuze drie horen kunnen we ook de inhoud van de tellerregisters bevriezen om te lezen. Als we een tellerregister willen lezen kan het beste eerst dit kommando gegeven worden. Op die manier voorkomen we verkeerde uitlezing en onbedoelde invloeden op het tellen. In mode 1 kunnen we overigens de teller uitlezen zonder het tellen te verstoren, de tellerstand is dan natuurlijk niet stabiel. Bij mode 1, 2 en 3 kan de tellerstand ook goed gelezen worden als de poortingang laag is.
Om een teller tijdens het tellen stabiel te lezen, moet dus een modewoord worden geschreven met bit 4 en 5 nul. Bit 0 t/m 3 zijn onbelangrijk, met bit 6 en 7 wordt aangegeven welke teller gelezen gaat worden. Als daarna nog een keer het stop commando wordt gegeven, maakt dat niets uit. Het register zal de tellerstand vasthouden zoals die tijdens de eerste stop-opdracht was. Door de tellerstand te lezen wordt het register weer vrij gegeven.

5.10.2.4 Keuze vier, TELLER NUMMER
De teller waar het mode-woord voor bestemd is, is een voor de handliggende keuze. De werkwijze van alle tellers wordt naar het zelfde adres geschreven. De geschreven data bepaald dus ook voor welke tellerdata in het moderegister wordt geschreven.

5.10.3 De PIT 8254 read back werkwijze.
Een belangrijke toevoeging aan de funkties van de PIT 8253 is de mogelijkheid van de PIT 8254 om het kontroleregister, de teller-0-flag en het niveau van de telleruitgang te lezen. Het is ook mogelijk om de stand van de drie tellers tegelijk vast te leggen in de telleruitleesregisters. De tellerstanden en de kontroleregisters kunnen ook tegelijk opgeslagen worden. Elke kombinatie is mogelijk. De status en de waarden van de tellers worden gelezen uit de tellerregisters.
Het lees-terug kommando wordt geschreven naar het kaartadres+3, bit 6 en 7 van dit kontrolewoord moeten hoog zijn en bit 0 behoort laag te zijn. Met bit 1, 2 en 3 wordt gekozen welke teller(s) gelezen gaan worden. Met bit 4 wordt gekozen of het statusregister wordt ingelezen en met bit 5 wordt gekozen of het tellerregister wordt ingelezen. Omdat alle mogelijkheden met een apart bit gekozen worden is elke kombinatie mogelijk. Als van een bepaalde teller het status- of tellerregister allebei zijn vastgelegd om te lezen, zal de eerste leesaktie vanuit het bijbehorende telleradres de status weergeven. Afhankelijk van de geprogrammerde werkwijze geeft de volgende leesopdracht of geven de volgende twee leesopdrachten de tellerstand. Daarna zullen leesopdrachten gewoon de tellerstand tijdens het tellen laten zien.

De bits van de lees-terug opdracht hebben de volgende funktie:

Bit	Dec.	Betekenis
0	1	0 voor uitwisselbaarheid met toekomstige IC's.
1	2	1 = Kies teller 0
2	4	1 = Kies teller 1
3	8	1 = Kies teller 2
4	16	0 = Houdt de status van de gekozen teller(s) vast
5	32	0 = Houdt teller register(s) vast
6	64	1 = lees-terug opdracht.
7	128	1 = Lees-terug opdracht.

De status van een teller moet na een lees-status-terug opdracht gelezen worden uit het tellerregister van de teller waarvan de status gelezen moet worden. Bit 0 t/m 5 geven de laatst geschreven werkwijze weer, met voor elk bit dezelfde betekenis als bij het schrijven van de werkwijze. Zie de voorgaande tekst. Bit 6 geeft aan of de tellerstand die opgege-

ven is al in de teller geladen is. Zolang dat niet het geval is, zal het lezen van een teller een foutieve waarde geven. Bit 6 wordt 1 als er een nieuwe waarde naar de teller is geschreven, bij twee bytes na het tweede byte. Bit 6 wordt 0 als deze waarde werkelijk in het tellerregister is gezet.
Bit 7 geeft de huidige toestand van de uitgang weer.

De betekenis van de twee hoogste bits van het statusbyte:

Bit	Waarde	Betekenis
6	0	Teller is beschikbaar om te lezen
6	1	Teller niet beschikbaar
7	0	De uitgang pin is laag (0)
7	1	De uitgang pin is hoog (1)

5.10.4 Het programma
Om de werkwijze van een tellerkanaal met Basic in te stellen zal over het algemeen een decimaal getal naar het mode-register moeten worden geschreven. Voor elk van de bovenstaande keuzes wordt het decimale getal genomen dat bij het antwoord hoort. Dit wordt opgeteld en dat is het kontrolewoord in decimale vorm. Dit kan in de meeste Basics met OUT(adres,getal) naar de teller worden geschreven. Over het algemeen is de PIT niet programma-intensief. Vooral bij uitgangsfunkties. We geven dan één keer de mode en de tellerwaarde op, daarna gaat de PIT rustig zijn eigen gang. Dat is één van de aantrekkelijke kanten van dit IC. Bij gebruik als teller is de programmering ook al eenvoudig. In beide gevallen komt het vooral neer op het kiezen van de juiste werkwijze, mode 0..5.
Bij het programma moet op het volgende gelet worden:
Na het schrijven van de (laatste) byte naar het teller-dataregister moet eerst een stijgende flank van de klok voorbij gaan. Op de dalende flank daarna wordt de data pas echt in het tellerregister gezet en kan de teller beginnen. Als een tellerregister voor die tijd wordt gelezen is de data niet geldig.
Bits die volgens de datasheets onbelangrijk zijn (x, don't care) moeten op 0 gezet worden om uitwisselbaarheid met toekomstige (Intel-) produkten te verzekeren.
N.B. De adressering van de registers is bij figuur 5-6 aangegeven.

Programmavoorbeeld:

OUT 3,54	Zet teller nul op mode 3, blokgolfgenerator.
OUT 0,0..255	Schrijf het eerste databyte (waarde 0..255)
OUT 0,0..255	Schrijf het tweede databyte (waarde X*256) (De telling loopt na eerste klokcyclus)
OUT 3,0	Bevries de inhoud van tellerregister 0 (telling loopt door!)
X=IN(0)	Lees eerste byte
Y=IN(0)	Lees tweede byte
Z=X+(256*Y)	Bereken de waarde 0..65535

5.10.5 Telverloop Soms is het van belang om te weten hoe de telling precies verloopt ten opzichte van de diverse signalen. De teller start altijd op dezelfde manier. Eerst moet het voor de mode geschikte startsignaal komen (schrijf tellerdata of flank op de poortingang). Daarna moet er een stijgende flank op de klok ingang passeren. Op de volgende dalende flank van de klok, wordt de tellerstand met één verlaagd. Dat kan dus maximaal bijna anderhalve klokcyclus duren. De toestand van de uitgangslijn verandert ook altijd op de dalende flank van de klok. De uitgangslijn is dus altijd gehele klokperioden lang aktief.
In de volgende tabel is de timing van de samenhang tussen ingangen en uitgang weergegeven.

5.10.6 De kaart
De kaart met de PIT 8253 timer/teller is verrassend eenvoudig voor zo'n veelzijdige randschakeling. Naast de PIT 8253 is alleen een HCT32 OF-poort IC nodig. In het schema is een 74HCT138-dekoder getekend, deze hoeft niet gebruikt te worden. Met de HCT138 kunnen op eenvoudige wijze acht PIT-IC's op één |-Kaartkeuzesignaal worden aangesloten. Als de multiplexer niet gebruikt wordt, moet JP1 doorverbonden worden.
De OF-poorten van IC2 zorgen ervoor dat de –Lees- en |-Schrijfsignalen van timing worden voorzien.
De poortingangen zijn met een pull-up weerstand van 10K afgesloten. Anders zou de teller niet goed werken als er niets op de poort is aangesloten. Op deze manier kunnen ze

Figuur 5-X13. Timing van de 8253

WRITE CYCLE

Symbol	Parameter	8253		8253-5		Unit
		Min.	Max.	Min.	Max.	
t_{AW}	Address Stable Before $\overline{WRITE}$	50		30		ns
t_{WA}	Address Hold Time for $\overline{WRITE}$	30		30		ns
t_{WW}	$\overline{WRITE}$ Pulse Width	400		300		ns
t_{DW}	Data Set Up Time for $\overline{WRITE}$	300		250		ns
t_{WD}	Data Hold Time for $\overline{WRITE}$	40		30		ns
t_{RV}	Recovery Time Between $\overline{WRITE}$ and Any Other Control Signal	1		1		μs

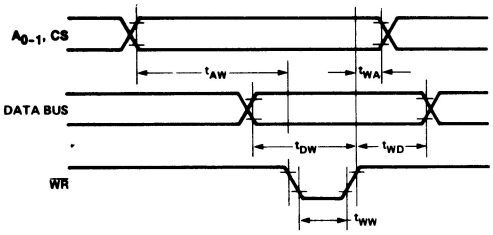
CLOCK AND GATE TIMING

Symbol	Parameter	8253		8253-5		Unit
		Min.	Max.	Min.	Max.	
t_{CLK}	Clock Period	380	dc	380	dc	ns
t_{PWH}	High Pulse Width	230		230		ns
t_{PWL}	Low Pulse Width	150		150		ns
t_{GW}	Gate Width High	150		150		ns
t_{GL}	Gate Width Low	100		100		ns
t_{GS}	Gate Set Up Time to CLK↑	100		100		ns
t_{GH}	Gate Hold Time After CLK↑	50		50		ns
t_{OD}	Output Delay From CLK↓[4]		400		400	ns
t_{ODG}	Output Delay From Gate↓[4]		300		300	ns

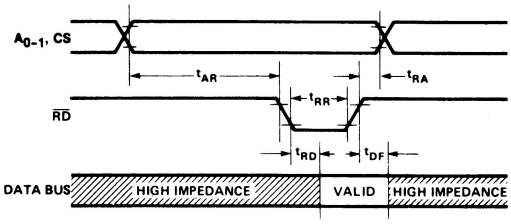
899007 - 5 -X13a

NOTES:
1. I_{OL} = 2.2 mA.
2. I_{OH} = −400 μA.
3. AC timings measured at V_{OH} 2.2, V_{OL} = 0.8.
4. C_L = 150pF.

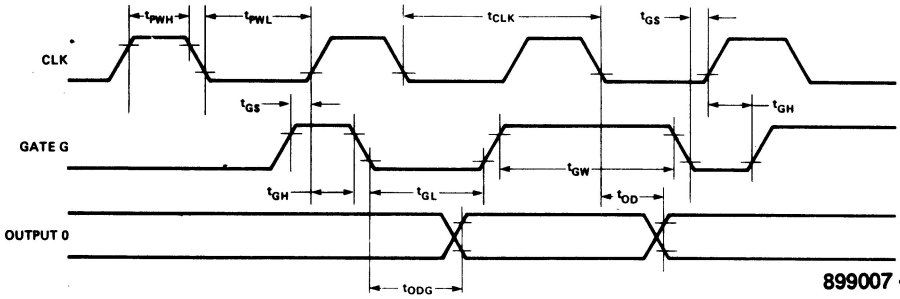
WRITE TIMING



READ TIMING



CLOCK AND GATE TIMING



899007 - 5 -X13b

ook eenvoudig met een open-kollektor uitgang worden aangestuurd, terwijl een gewone TTL-uitgang ook aangesloten kan worden.
Op de kaart zijn aansluitingen aanwezig voor Klok, –INT en |-NMI.
De Kloklijn van de mikrobus kan gebruikt worden als klok voor de teller, mits de frekwentie (eventueel via een deler) lager dan de maximale ingangsfrekwentie van de teller is. Via de interruptaansluitingen kunnen we bijvoorbeeld met de PIT op gezette tijden een interrupt aan de computer geven. Om de interruptlijnen aan te sluiten moet de open-kollektor buffer (zie figuur 5-6) tussen de uitgang van de PIT en de aansluiting worden opgenomen.
Er zijn 6 lijnen op de uitgangskonnektor gereserveerd voor paralleluitgangen, dat zijn pin 6, 10, 14, 18, 22 en 26. Op de hier beschreven basiskaart zit geen parallelpoort, maar die zou eenvoudig gerealiseerd kunnen worden met een HCT374 (8 bits, 20 pins DIL) of HCT174 (6 bits, 16 pins DIL). Van een HCT174 moet pin 1 aan +5 V gelegd worden. De klokingang moet via een OF-poort (een nu ongebruikte poort van de HCT32) met de schrijfpuls uit de OF-poort HCT32 (pin 6) en één van de acht uitgangen van de HCT138 verbonden worden. Bij voorkeur de derde uitgang, pin 13, dan kan de tweede adresuitgang (pin 14) voor een tweede PIT gebruikt worden. Een aantal komplete toepassingen kunnen namelijk optimaal gerealiseerd worden met twee PIT-IC's en een 6 bits parallel-uitgangpoort. De tweede PIT kan dan samen met de eerste en de parallel-uitgangpoort op één 26-polige eindkonnektor worden aangesloten. Het pingebruik voor de tweede PIT is dan een voortzetting van die voor de eerste PIT.

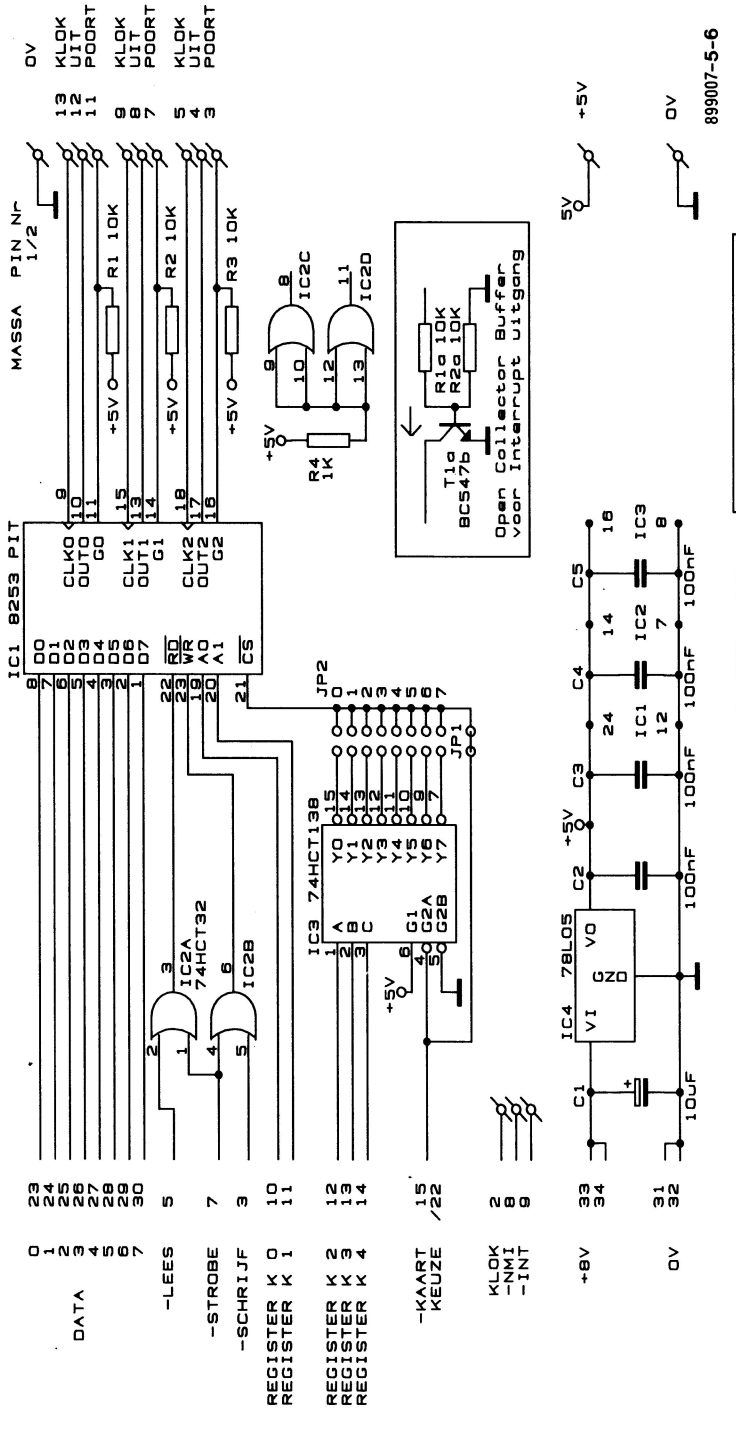
Eventuele problemen door negatieve pieken op de klokingangen kunnen bijvoorbeeld voorkomen worden door 4,7 V zenerdioden over de klokingangen aan te sluiten. Een BAT85-diode over de ingang werkt sneller en beperkt de mogelijk optredende negatieve piek tot een kleinere waarde, die zijn dus beter dan een zenerdiode maar niet zo algemeen in voorrraad en duurder.

5.11 De analoge basiskaarten in het algemeen

De volgende vier kaarten werken met analoge signalen. Aangezien de algemene eigenschappen van analoge kaarten beter in één keer besproken kunnen worden volgt hier eerst een korte algemene inleiding. Analoge signaalbehandeling gebeurt met analoog/digitaal-omzetters en digitaal/analoog-omzetters. Als afkorting wordt vaak gebruikt; ADC, analog to digital converter, en DAC voor digital to analog converter. Deze zouden evengoed een analoge ingangspoort en een analoge uitgangspoort kunnen heten.

Een digitaal-naar-analoog omzetting kan op verschillende manieren gerealiseerd worden. In de beide hier gebruikte IC's wordt een R-2R-ladder gebruikt. Dat is een techniek die goed in IC-vorm te maken is. Het belangrijkste verschil tussen de beide DAC's op de basiskaarten zit in het uitgangscircuit van de DAC. In principe bestaat het signaal dat uit een DAC komt altijd uit een variabele stroom. Die kan met een opamp in een variabele spanning worden omgezet. Dat gaat altijd ten koste van de snelheid van omzetting. Bij de DAC08 zijn twee komplementaire stroomuitgangen aanwezig. De ZN426 beschikt intern over een spanningsreferentie en een stroom naar spanningsomzetter, de externe opamp wordt voor off-set en volle schaal instelling gebruikt.

De twee hier beschreven A/D-omzetters werken allebei volgens het veel toegepaste principe van de stapsgewijze benadering, "successive approximation". Dat is een betaalbare techniek met een behoorlijke snelheid. Binnen het Mikrosysteem wordt ook veel gewerkt met voltage/frekwentie-omzetters en de PIT 8253-kaart als ingangspoort. Het voordeel daarvan is dat de nauwkeurigheid groot kan zijn en dat de lichtnetstoring door de keuze van de meettijd onderdrukt kan worden. Een nadeel van voltage/frekwentie-omzetters is de trage werking. In boek 2 wordt het gebruik van v/f-omzetters besproken.
De ADC0808 beschikt over 8 ingangen die eenvoudig via aparte adressen ingelezen kun-



ADRES v d REGISTERS	
TELLER 0	KAART + 0
TELLER 1	KAART + 1
TELLER 2	KAART + 2
MODE REG	KAART + 3

Funktie van de POORT ingang pin			
MODE	LAAG / DALEND	STIJGEND	HOOG
0 INTERRUPT OP TELLER=0	STOP TELLEN	--	TELLEN
1 ONE-SHOT	--	START TELLEN RESET UITNA 1 KLOK	--
2 RATE GEN.	STOP TELLEN UIT HOOG	HERLAAD TELLER START TELLEN	TELLEN
3 BLOKGOLF	ALS 2	START TELLEN	TELLEN
4 SOFT TRIG. STROBE	STOP TELLEN	--	TELLEN
5 HARD TRIG. STROBE	--	START TELLEN	--

Figuur 5-6. Timer/Teller PIT 8253

nen worden. De ZN427 is geschikt voor redelijk snelle omzettingen.

5.11.1 Successive approximation A/D-omzetters

Bij een Successive Approximation analoog/digitaal-omzetter wordt de uitgangsspanning van een digitaal/analoog-omzetter stapsgewijs vergeleken met de onbekende ingangsspanning. Een S.A-omzetter bestaat uit een DAC, een komparator, een "successive approximation register (SAR)" en een referentiespanningsbron. De SAR is een samenstel van logische schakelelementen die de besturing van het hele omzettingsproces regelt, daarbij moet een kloksignaal en een startpuls gebruikt worden. Op de eerste aktieve klokflank na een startpuls wordt bit 7 (MSB) op 1 gezet, de rest op 0. Dus de interne DAC zal een spanning van $V_{ref}/2$ afgeven. Op de volgende aktieve flank van de klok wordt dit bit op 0 gezet als de ingangsspanning kleiner is dan de afgegeven spanning van $V_{ref}/2$. Als de ingangsspanning groter is blijft het bit hoog. Op dezelfde klok flank wordt bit 2 hoog gemaakt. De uitgangsspanning van de DAC is dan $V_{ref}/4$ of $V_{ref}/2 + V_{ref}/4$, afhankelijk van de vorige beslissing. Bij de volgende aktieve klokflank wordt de uitgangsspanning weer met V_{in} vergeleken en wordt dit tweede bit op 0 of 1 gezet. Dit gaat zo voort t/m bit 0 (LSB).

5.11.2 Eigenschappen van een analoge ingangspoort

In het volgende wordt kort ingegaan op de belangrijkste kenmerken van een A/D-omzetter. Dit is zeker geen volledige behandeling van het onderwerp, dat is goed voor een boek op zich. De belangrijkste eigenschappen van een analoge omzetter kunnen gesplitst worden in de statische eigenschappen en de tijdgebonden eigenschappen.

5.11.2.1 Statische eigenschappen

Voor wat betreft de statische eigenschappen komen een DAC en een ADC overeen. De belangrijkste statische eigenschappen zijn: de resolutie, de lineariteit en de drift. De andere zaken als off-set en volle schaal kunnen afgeregeld worden.

- Resolutie

De resolutie is de kleinste eenheid waarin de analoge waarde verdeeld kan worden. Deze waarde wordt ook wel 1 LSB genoemd, één minst belangrijke bit of één kleinste stap. Dat is gelijk aan de volle schaal gedeeld door het aantal mogelijke uitgangswaarden, 1 LSB = volle schaal/2^n, n = aantal bits. Dit is het meest gebruikte getal om de eigenschappen van een omzetter mee aan te geven. Vaak wordt dan aangenomen dat de rest van de eigenschappen zo goed zijn dat de resolutie tot zijn recht komt. Dit is natuurlijk helemaal niet automatisch het geval. De resolutie die gewenst is bepaalt het aantal bits waarmee de omzetter moet werken. Een belangrijk getal dat samenhangt met de resolutie is de kwantiseringsfout. Bij een A/D-omzetter zal de ingangswaarde altijd in stukjes van een vaste grootte (1LSB) opgedeeld worden. Daardoor kan een fout van maximaal ±½LSB (=1LSB) gemaakt worden. Bij een D/A-omzetter is de minimale stapgrootte ook 1 LSB, dit uit zich in ruis op het uitgangssignaal. De volgende tabel is een lijst van het oplossend vermogen van een konversie bij diverse resoluties. De resolutie is opgegeven in bits, het oplossend vermogen in promille van de volle schaal en de kwantiseringsfout in decibel (dB) ten opzichte van de volle schaal.

Oplossend vermogen	Resolutie	Kwantiseringsfout
8 bits	3,906 ‰	− 48 dB
10 bits	0,977 ‰	− 60 dB
12 bits	0,244 ‰	− 72 dB
14 bits	0,061 ‰	− 84 dB
16 bits	0,015 ‰	− 96 dB
18 bits	0,0038 ‰	−108 dB
20 bits	0,0001 ‰	−120 dB

- Lineariteit

De lineariteit bepaalt vooral de feitelijke bruikbaarheid van een A/D-omzetter. Deze wordt gedefinieerd als de afwijking van de ideale lineaire overdrachtsfunktie, dus van een rechte lijn die tussen het nulpunt en de volle schaal wordt getrokken. Afwijkingen kunnen diverse oorzaken en gevolgen hebben. Voor meet- en regelsystemen is het be-

langrijkste dat de omzetter monotoon moet zijn. Bij een monotone omzetter zal voor elke stijging in de ingangswaarde een gelijke of stijgende uitgangswaarde te zien zijn. Als de lineariteit beter is dan ½ LSB zal de omzetter in ieder geval monotoon zijn. Als een omzetter niet monotoon is, kan een regellus gaan oscilleren. Een voltage/frekwentie-omzetter geeft altijd een monotoon uitgangssignaal af.

- Drift

Alle eigenschappen van de omzetter zijn onderhevig aan verandering onder invloed van de temperatuur en de leeftijd van de onderdelen. Het belangrijkste is de invloed van de temperatuur op de lineariteit, het nulpunt en de versterking (volle schaal). Deze worden vaak in ppm/°C opgegeven. De totale drift bestaat uit de som van deze koëfficiënten vermenigvuldigd met het temperatuurverschil. De totale drift mag niet meer dan een ½ LSB zijn.

- De offset en de volle schaal

De offset bestaat uit een verschuiving van alle uitgangswaarden met een vaste waarde. Dit heeft dus tot gevolg dat ingangswaarde nul geen uitgangswaarde nul afgeeft, vandaar dat dit ook de nulpuntinstelling heet. De volle schaal instelling hangt samen met de versterkingsfaktor van de omzetter. De offset en de volle schaal zijn heel belangrijk en vaak niet in de fabriek optimaal instelbaar. Gelukkig zijn ze extern goed af te regelen. Dat wordt verderop in het algemeen en bij elke kaart specifiek besproken. Bij zeer nauwkeurige metingen worden het nulpunt en de volle schaal telkens als onderdeel van de meetcyclus met de computer afgeregeld of geijkt.

5.11.2.2 Tijdgebonden fouten

Zowel bij een D/A-omzetter als een A/D-omzetter is de omzettingstijd een belangrijk gegeven. Dit is gedefinieerd als de tijd die nodig is om een uitgangssignaal te produceren dat binnen de vereiste nauwkeurigheid stabiel is. Om dat nader te specificeren moet verschil worden gemaakt tussen D/A- en A/D-omzetters. Andere tijdgebonden eigenschappen zijn ook voor een DAC anders dan voor een ADC.

- D/A-omzetters.

De belangrijkste dynamische eigenschap van een DAC is de ''settling time''. Dat wil zeggen de tijd die het kost om tot een stabiele uitgangswaarde te komen. Met stabiel wordt bedoeld dat de uitgangswaarde binnen ½ LSB van de gewenste waarde is en blijft. Om die te meten worden alle bits tussen hoog en laag geschakeld.

Een andere tijdgebonden fout is het optreden van stoorpulsen (glitches). Deze ontstaan als alle bits niet exakt tegelijk omschakelen, daardoor ontstaat tijdelijk een fout uitgangssignaal. Dit kan zeer hinderlijk zijn bij besturingstoepassingen.

- A/D-omzetters

De konversietijd van een analoog/digitaal-omzetter wordt sterk bepaald door de toegepaste techniek. Bij de hier gebruikte omzetters bepaalt de klokfrekwentie de snelheid van de omzetting. Deze duurt negen klokcyclussen.

Als een wisselspanning met een successive approximation A/D-omzetter gedigitaliseerd moet worden, zal zonder maatregelen al gauw een grote fout optreden. De spanning zal namelijk tijdens de meting veranderen. Dit mag niet meer dan ½ LSB zijn. De maximale frekwentie die goed gedigitaliseerd kan worden hangt dus af van het aantal bits en de snelheid van de omzetter. Voor een sinusvormige spanning geldt de volgende formule:

$F_{max} = 1/2^{(N+1)} \cdot \pi \cdot Tc$.

F_{max} = Hertz, N = aantal bits, Tc = konversietijd in sekonden.

Voor 8 bits; $F_{max} = 1/1608{,}5 \cdot Tc$. De maximale signaalfrekwentie voor de ADC0808 is dus 6,2Hz en voor de ZN427 62,2Hz. Dat is veel te laag voor vele doeleinden. Daarom wordt bij wisselspanning ingangssignalen vrijwel altijd een sample&hold-versterker tussen de signaalbron en een A/D-omzetter geplaatst. Een sample&hold-circuit neemt op kommando in zeer korte tijd een monster van het ingangssignaal. Op de uitgang van dit circuit is het opgeslagen signaal lange tijd binnen een ½ LSB nauwkeurig uit te lezen. In boek 2 wordt dat verder besproken.

5.11.3 Tips

Hier volgen een aantal tips voor het gebruik van A/D- en D/A-omzetters.

* Nadat de voedingsspanning op een A/D-omzetter is gezet, is het verstandig om twee loze omzettingen uit te voeren. De eerste twee uitlezingen kunnen een fout resultaat geven.

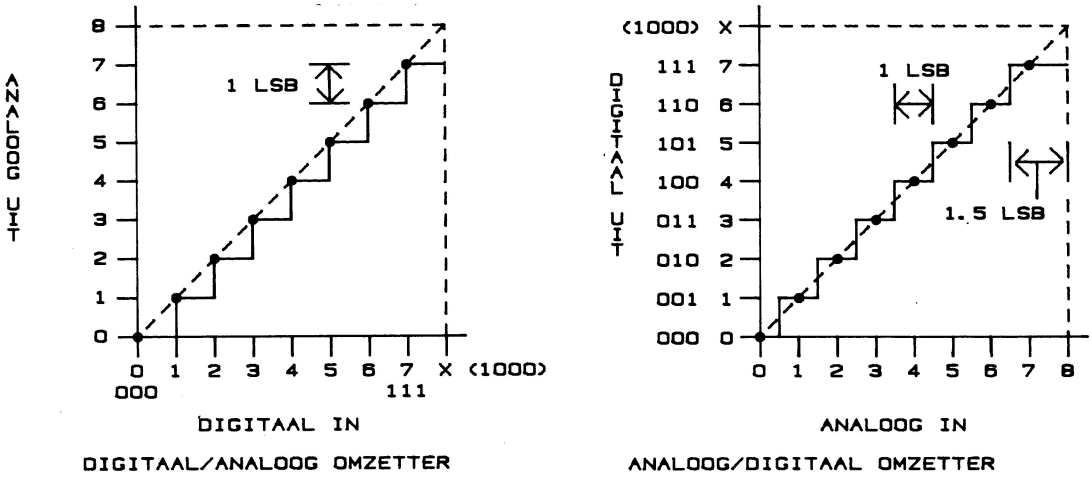
* Start de omzetting niet als er al een omzetting loopt. De nieuw gestarte omzetting kan een foute uitlezing geven.
* Ongebruikte ingangen van meerkanaals A/D-omzetters moeten afgesloten worden om ze te beschermen tegen statische ladingen.
* Over het algemeen kan het beste gebruik worden gemaakt van de interne referentiebron. Een externe referentiebron met betere cijfers op papier kan slechter werken in de praktijk. Vaak zullen de eigenschappen van een omzetter en zijn interne referentie op elkaar afgestemd zijn.
* Als periodieke signalen gedigitaliseerd moeten worden, moet een vaste sample&hold-frekwentie voor de omzetting worden gebruikt. Anders zal een spektraalanalyse van het signaal geen goed resultaat opleveren. Het beste kan de omzetting met een van de computerklok afgeleide frekwentie bestuurd worden. Met het programma kan precies op de goede tijden naar de uitgangswaarde gekeken worden, mits de cyclustijd van het programma exakt bekend is. De interne interrupts dienen daarbij bij voorkeur te worden uitgeschakeld.
* Let er bij de opbouw van een A/D-omzetter op dat de digitale signalen niet kapacitief op de analoge signalen koppelen. Let op de voeding, massa- en signaalbedrading, zie het hoofdstuk: Aarde en storingsonderdrukking.
*Bij rekonstruktie van het signaal moet de DAC bij voorkeur op twee uitgangsbuffers worden aangesloten. Via eenzelfde (sample&hold-) frekwentie wordt de DAC nu afwisselend met een buffer verbonden. Via een statuslijn kan de DAC aan de computer laten weten dat de betreffende buffer weer beschikbaar is voor nieuwe data. Op deze manier kan worden voorkomen dat aan het uitgangssignaal ongewenste spektraalkomponenten worden toegevoegd.

5.11.4 Afregelen

Het afregelen van een A/D- en D/A-omzetter vraagt enige aandacht. Bij het volgende verhaal wordt uitgegaan van een 8-bits omzetter en unipolaire analoge signalen. Bipolaire omzetters kunnen diverse koderingstechnieken gebruiken, daar moet de afregelprocedure eventueel voor worden aangepast. Als een A/D-omzetter en een D/A-omzetter op onderstaande manier zijn afgeregeld is het pas goed mogelijk om signalen te digitaliseren en weer te rekonstrueren. Elke stap zal dan gelijk zijn aan $V_{max}/2^n$, n = aantal bits. Het gevolg is wel dat de volle schaal bij een D/A niet bereikbaar is en bij een A/D niet te onderscheiden van de stap ervoor. Dit is overigens nooit een probleem.

* Zoals altijd bij een afregelprocedure, moet ook hier eerst het nulpunt afgeregeld worden en daarna de volle schaal.
* Een D/A-omzetter is het eenvoudigst af te regelen. Bij een digitale waarde van 0d, moet het uitgangssignaal ook 0,0000 V zijn. Bij een uitgang van 255d moet het uitgangssignaal volle schaal min één LSB (kleinste stap) zijn. In het voorbeeld dus $5-(5/2^8)$ = 4,9805 V. Na dit afgeregeld te hebben is de DAC klaar voor gebruik. Voor het voorbeeld is elke stap nu; $V_{max}/2^n$ = 5/256 = 0,0195 V.
* Een A/D-omzetter is iets moeilijker af te regelen. De overgang van uitgangswaarde 0d naar uitgangswaarde 1d moet halverwege de eerste stap gebeuren. Dus op een halve LSB zoals dat heet. Dat is, $V_{max}/((2^n)\cdot 2)$. Voorbeeld; $5/256\cdot 2 = 0{,}00977V \approx 0{,}010V$. De overgang van 254d naar 255d moet anderhalf LSB onder de volle schaal plaats vinden, voorbeeld; $5-1{,}5\cdot 0{,}0195 = 4{,}97070\ V \approx 4{,}971\ V$. Elke stap is dan $V_{max}/2^n$ groot en de uitgangskode is een juiste afronding van de ingangsspanning.
Als volle schaal voor een 8-bits omzetter kan ook goed een spanning van 5,120 V genomen worden. Dit heeft vooral ook voordelen voor het programma. Elke stap is dan 5,120/256 = 0,0200 V groot. De maximale uitgangsspanning van een D/A-omzetter is dan 5,100 V. De eerste A/D stap ligt dan bij 0,010 V en de kode blijft geldig tot 0,029 V. De volgende stap begint bij 0,030 V. De laatste stap begint bij 5,090 V ($=5{,}120-1{,}5\cdot 0.020$).
** Aangezien het nulpunt bij een A/D-omzetter niet echt op nul ligt moet het afregelen minstens twee keer gebeuren.
** Een ZN427 die bipolair wordt gebruikt, moet bijna net zo afgeregeld worden. De laagste ingangsspanning wordt behandeld alsof het 0 V is en de hoogste ingangsspanning als volle schaal.

Zie ook de twee volgende tekeningen van de overdracht funktie van een ideale drie bits



Figuur 5-X14a en b

D/A-omzetter en A/D-omzetter. Daarbij is een volle schaal van 8 V gekozen. De stappen zijn dus $8/2^3 = 8/8 = 1$ V groot. Let op dat de volle schaal (8) met een vier bits kode moet worden weergegeven.

Ratiometrisch meten.
De referentiespanning kan bij de zogenaamde ratiometrische werkwijze vervallen. Daarbij wordt een ingangssignaal gebruikt waarvan de waarde in verhouding tot een referentiespanning wordt bezien. De absolute waarde doet er niet toe. Bijvoorbeeld als een potentiometer gebruikt wordt om de positie van een bewegend deel vast te stellen. De spanning op de arm van de potentiometer is een verhouding tussen de potmeter-segmenten en de aangelegde spanning. Door de A/D konversie ook ten opzichte van die spanning uit te voeren komt de juiste waarde van de hoek tevoorschijn. Zo'n meting kan prima uitgevoerd worden met de voedingsspanning als referentie. Ook metingen met een NTC of LDR kunnen heel goed ratiometrisch gebeuren, waarmee de relatief dure referentie overbodig is.

5.11.5 Voeding op de basiskaarten

Ondanks het gebruik van aparte spanningsstabilisatoren op elke basisprint, is de kwaliteit van de voeding op de basiskaarten eigenlijk toch te slecht om er het analoge deel van de analoge basiskaarten mee te voeden. Ook op de massalijnen blijkt hoogfrekwente storing vanuit de busaktiviteiten aanwezig. Daarom is in de schema's duidelijk onderscheid gemaakt tussen de digitale massa en de analoge massa. Via een jumper kunnen die desgewenst verbonden worden. Beter is het om de analoge massa met het centrale massa punt van het systeem te verbinden. Zie het hoofdstuk over storingsonderdrukking.
Voor een optimale werking is het vaak verstandig om de voeding van het analoge deel rechtstreeks vanaf de +8 V-basisvoeding te verzorgen. Bij de ADC0808 is aangegeven waar een externe +8 V kan worden aangesloten. Bij de ZN427 is een externe positieve spanningsaansluiting niet nodig. Bij de DAC08 kan het hele analoge deel vanaf de +15 V en −15 V gevoed worden. Bij de ZN426 is aangegeven waar een externe +8 V voor de uitgangsbuffer aangesloten kan worden.

De eindkonnektor
Voor de eindkonnektor is bij alle analoge kaarten een aanbevolen pin-bezetting opgegeven. Een belangrijke overweging daarbij was het voorkomen van schade bij het per ongeluk aansluiten van een verkeerde kaart. Verder is op de uitwisselbaarheid gelet van de

ADC- en DAC-kaarten. Op pin 26 kan eventueel een interruptuitgang worden aangesloten om de kaart te verbinden met de PIC8259-basiskaart. Hier volgt een overzicht van die aansluitingen.

Pinnr.	Kaart ADC0808	ZN427	DAC08	ZN426
1/2	MASSA	MASSA	MASSA	MASSA
3	+8 V	X	+15 V	+8 V
5	$+V_{ref}$ in	$+V_{ref}$ in	$+V_{ref}$ in	$+V_{ref}$ in
7	Klok	$+V_{ref}$ uit	X	$+V_{ref}$ uit
9	V_{in} 7	V_{in}	V_{uit}	V_{uit}
11	V_{in} 6	X	X	X
13	V_{in} 5	Klok	$+I_{uit}$	X
15	V_{in} 4	Start	$-I_{uit}$	X
17	V_{in} 3	Busy	$-I_{ref}$	X
19	V_{in} 2	X	$+I_{ref}$	X
21	V_{in} 1	X	X	X
23	V_{in} 0	X	X	X
25	X	Ext − V	−15 V	X
26	interruptuitgang, zie tekst			

De even pennummers liggen aan massa.

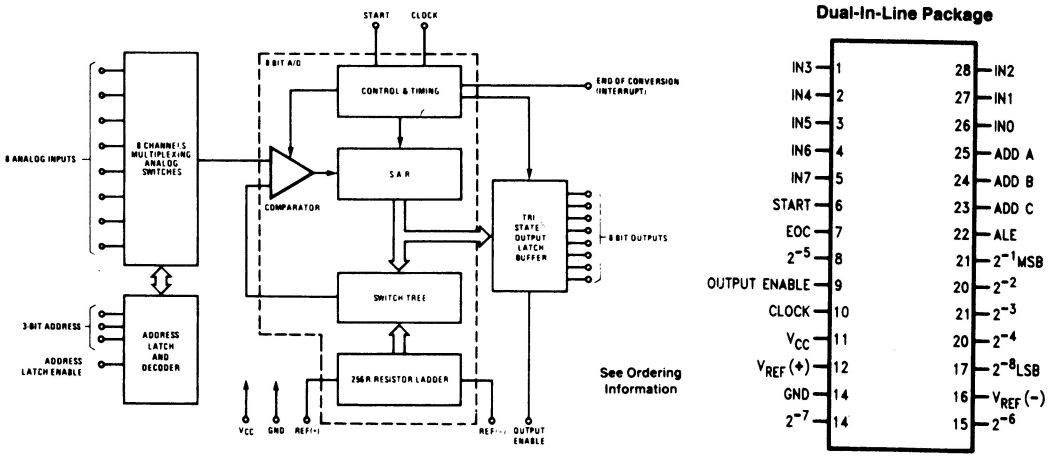
5.12 ADC0808 A/D-omzetter

De ADC0808 beschikt over acht ingangskanalen. Deze A/D-omzetter is goed geschikt voor het meten van natuurkundige grootheden, zoals temperatuur enz. Hij kan ook gebruikt worden voor ratiometrische metingen zoals bijvoorbeeld bij de Fischer-Technik robots. Doordat de weerstandsladder waarmee de binnenkomende waarde vergeleken wordt echt uit 256 weerstanden bestaat, zijn er geen missende kodes en verloopt de omzetting ook gegarandeerd monotoon. Deze kaart is daardoor zeer geschikt voor gebruik bij het meten en regelen van niet al te snelle processen. Om een signaal echt te digitaliseren moet al gauw een snellere omzetter zoals de ZN426 gebruikt worden.

De kenmerken van deze kaart:
Acht bits analoog/digitaal-omzetting.
Acht onafhankelijke ingangskanalen waar een spanning tussen 0 V en + V-voeding op aangesloten kan worden.
Minimale konversietijd 100μs.
Geen missende kodes door 256 weerstanden netwerk.
Intern netwerk maakt offset en volle schaal afregeling overbodig. Alleen de (externe) spanningsreferentie moet voor absolute metingen afgeregeld worden.

5.12.1 Gebruik

Het werken met de kaart is de eenvoud zelf. Om te beginnen moet een spanning op een ingang worden aangesloten tussen 0 V en de positieve voedingsspanning. De omzetting begint met een schrijfopdracht (willekeurige waarde) naar de A/D-omzetter. Met de Re-



Figuur 5-X15

gisterkeuzesignalen 0, 1 en 2 wordt gekozen welk kanaal gedigitaliseerd wordt. Dus de acht kanalen zitten op acht verschillende adressen, er komt geen mode-woord aan te pas. De uitgelezen waarde X is een getal van 0 t/m 255, dit komt bij een maximale ingangsspanning van +5,12 V overeen met X·0,020 V op de ingang. De voedingsspanning behoort in dat geval ook minimaal op 5,12 V te liggen. De klokfrekwentie voor de omzetter moet typisch 640 kHz zijn (min. 10kHz, max. 1280 kHz). De gemiddelde omzettijd bedraagt dan 100 μs.
Als de ADC0808 tijdens de omzetting opnieuw gestart wordt, zal de omzetting zonder problemen opnieuw beginnen.
De End Of Conversion-uitgang kan gebruikt worden om een interruptsignaal af te geven.

Software voorbeeld:

Out 0,0 [OUT 0..7,X]	Start omzetting [kanaal 0..7]
Wacht minimaal 100 μs	Omzetting vindt plaats
of wacht op interrupt	
X=IN(0) [IN(0..7)]	Lees de waarde
Z=X·0,020	Bereken de ingangsspanning

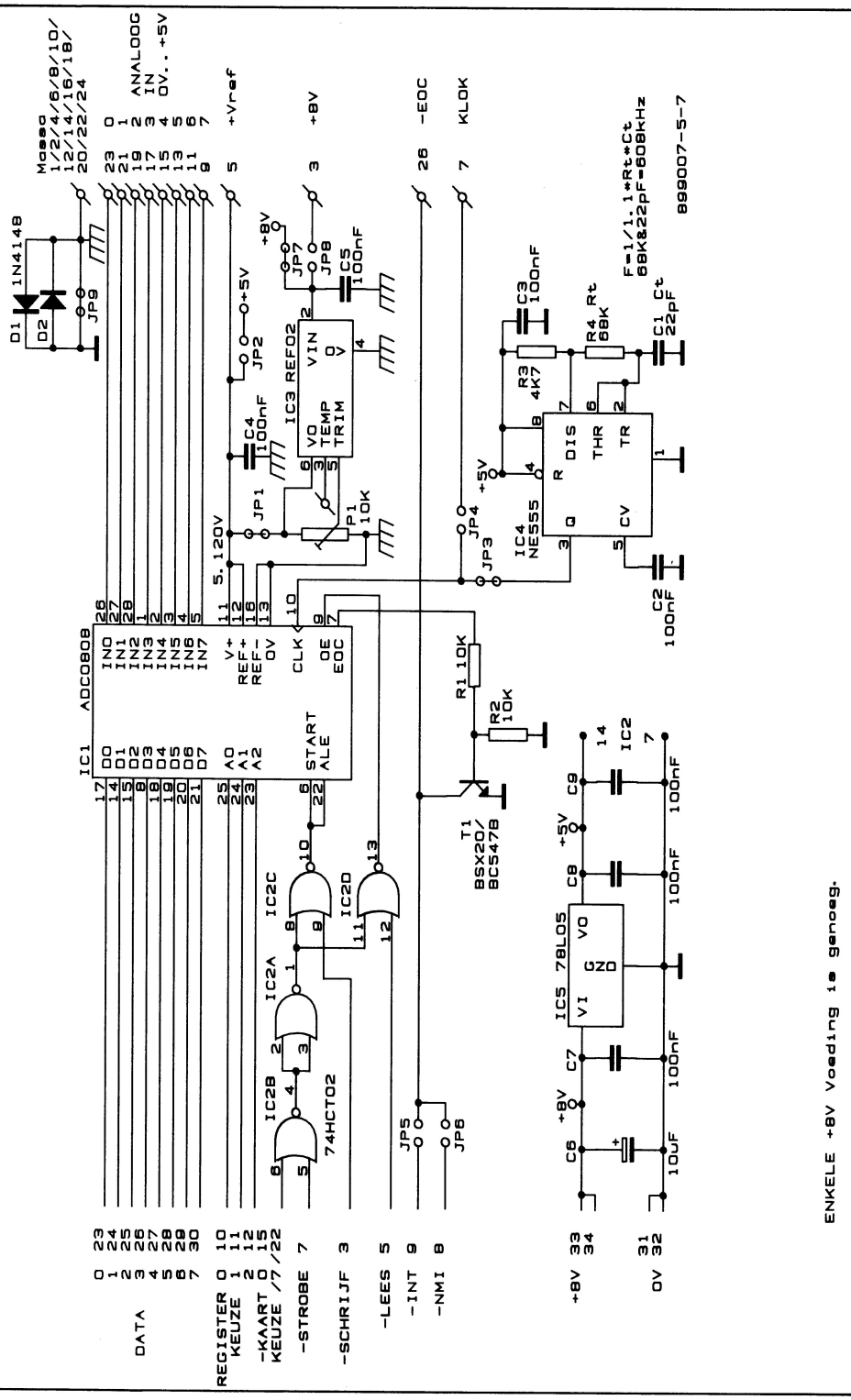
Het programma hoeft dan geen rekening te houden met de kloksnelheid van de A/D-konverter. Als de omzetting klaar is wordt een sein aan de CPU gegeven, de CPU kan de waarde dan uitlezen zonder steeds op de A/D te hoeven letten.
Opgepast moet worden voor ingangsspanningen buiten de voedingsspanning. Als op één kanaal een overspanning aanwezig is, zijn ze allemaal geblokkeerd. Niet aangesloten kanalen moeten afgesloten worden. Een 3,5 mm-jack met schakelkontakt, kan een ongebruikte signaalingang automatisch met de aarde verbinden.

5.12.2 Het programma

Aangezien er geen werkwijze op hoeft te worden gegeven is het programmeren een eenvoudige zaak. Er hoeft alleen maar gekozen te worden met welk kanaal gewerkt wordt. Dit bepaalt het adres waar naar geschreven moet worden om de omzetting te starten. De omgezette waarde kan vervolgens op elk van acht adressen worden gelezen. Als de registerkeuze lijnen R0, 1 en 2 op de busbuffer met de adreslijnen A0, 1 en 2 zijn verbonden zijn de acht ingangskanalen op acht opeenvolgende adressen te bereiken. Het programma bestaat uit twee onderdelen. Het starten van de omzetting door een schrijfopdracht naar een kanaal. En het lezen van de waarde van dat kanaal. Tussen het starten en lezen moet voldoende tijd zitten om de omzetting plaats te laten vinden. Die tijd hangt af van de gebruikte klokfrekwentie. Elke Basic heeft haar eigen mogelijkheden om een pauze in te bouwen. Daarna zal de waarde die ingelezen is bijvoorbeeld nog omgezet moeten worden naar een uitleeswaarde. Elke stap van de ingang is gelijk aan 5,12/256 = 0,020 V, zie 'analoge kaarten in het algemeen'. Als een sensor is aangesloten zal vaak direkt naar de meetwaarde toegerekend worden: graden celcius, millibar, etc. De formule daarvoor is uiteraard afhankelijk van de sensor en de gebruikte schakelingen tussen sensor en A/D.

5.12.3 De kaart

De kontrolesignalen van de mikrobus worden met NOF-poorten tot een lees- en een schrijfpuls bewerkt. De ADC0808 vraagt een hoog aktieve leespuls en schrijfpuls. Eerst worden −Kaartkeuze en −Strobe samengevoegd tot een chipselect-signaal dat van timing is voorzien. Via de poorten IC2C en IC2D wordt van de −Lees- en −Schrijfsignalen met het eerder gemaakte chipselect-signaal, de lees- en schrijfpuls gemaakt.
De End of Conversion-uitgang kan via T1 een interruptlijn aansturen. Dan kan het programma direkt reageren als de konversie klaar is en ondertussen iets anders doen.
De klokgenerator is met een NE555 opgebouwd. Deze standaard oscillatorschakeling wordt in boek 2 nader besproken. De klok bepaalt de snelheid van de omzetting.
Als spanningsreferentie wordt een REF02 gebruikt. De spanningsreferentie moet gebruikt worden om nauwkeurig absolute waarden van spanningen op de ingangen te meten. Met P1 kan de REF02 op 5,120 V afgeregeld worden. Een REF02-C wordt geleverd met een ongetrimde uitgangsspanning tussen 4,950 en 5.050 V, met P1 kan ± 6% veranderd worden. De veel duurdere REF02-A is



Figuur 5-7. ADC0808 A/D-omzetter

vanaf de fabriek afgeregeld tussen 4,985 en 5,015 V. De TEMP-uitgang geeft een goed bruikbaar signaal van 2,1 mV/°C (eigenlijk °K). Bij 25°C is de uitgang +630 mV. De REF02-C is bruikbaar als temperatuur sensor van 0 tot +70°C met een nauwkeurigheid van ±1%. Met ±1% wordt bedoeld dat, wanneer er bijvoorbeeld geijkt is bij +25°C, een meting bij +75°C binnen ±0,5°C nauwkeurig is (1% van 75°C-25°C).
Aangezien de voedingsspanning op de bus nogal wat storing opgepikt kan hebben, is ook voorzien in het gebruik van een externe voeding voor de REF02. Daarvoor zijn JP7 en JP8.
Als de voedingsspanning voor ratiometrische metingen als referentie wordt gebruikt, moet JP2 gesloten en JP1 open zijn.
Het ontbreken van een klok en een spanningsreferentie aan boord van de ADC0808 heeft zijn voor en tegen. Het IC is er goedkoop door en met de twee beschreven extra schakelingen funktioneert het geheel prima. Een spanningsreferentie is niet eens altijd nodig. Als de REF02 wordt gebruikt, kan die meteen als omgevingstemperatuur-sensor gebruikt worden.
Als er meerdere A/D-konverters gebruikt worden, is de gelijkloop tussen de omzetters goed te garanderen door één spanningsreferentie te gebruiken. En door één centrale klok te gebruiken, kunnen alle A/D's synchroon werken. Voor het aansluiten van meerdere IC's op dezelfde klok en spanningsreferentie zijn de jumpers 1 t/m 4 en de aansluitingen 3 en 5 op de uitgang aanwezig.

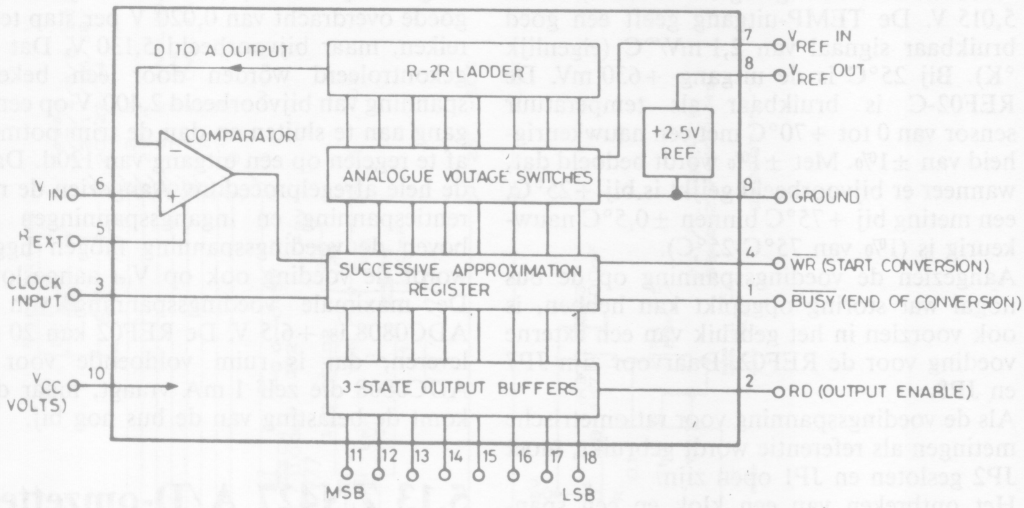
5.12.3.1 Afregelen van ADC0808
Het afregelen van de ADC0808 is in feite al door de fabrikant gedaan. Doordat er intern echt 256 weerstanden zijn opgenomen, in plaats van het veel voorkomende R/2R netwerk, bestond de mogelijkheid om de 1e en 256e weerstand zo aan te passen dat afregelen overbodig is. De waarde van de eerste weerstand is gehalveerd t.o.v. de andere weerstanden, de weerstand van de 256e is 1,5 keer zo groot. Voor ratiometrische metingen is daarmee alles al klaar, 1LSB = $V_{ref}/256$. Voor absolute metingen moet een stabiele referentiespanning gebruikt worden. Hier wordt de REF02 gebruikt. Deze kan om eerder uitgelegde redenen het beste op 5,120 V afgeregeld worden. Bij bepaalde exemplaren van de ADC0808 is gebleken dat de referentiespanning niet precies 5,120 V moet zijn om een goede overdracht van 0,020 V per stap te bereiken, maar bijvoorbeeld 5,130 V. Dat kan gekontroleerd worden door een bekende spanning van bijvoorbeeld 2,400 V op een ingang aan te sluiten en dan de trim potmeter af te regelen op een uitgang van 120d. Dat is de hele afregelprocedure. Aangezien de referentiespanning en ingangsspanningen niet boven de voedingsspanning mogen liggen, wordt de voeding ook op V_{ref} aangesloten. De maximale voedingsspanning van de ADC0808 is +6,5 V. De REF02 kan 20 mA leveren, dat is ruim voldoende voor de ADC0808 die zelf 1 mA vraagt, maar daar komt de belasting van de bus nog bij.

5.13 ZN427 A/D-omzetter

De ZN427 is geschikt voor redelijk snelle digitalisering. Het kan gebruikt worden voor audio- of videodigitalisering. De konversietijd is tien keer korter dan van de ADC0808. Ook voor meetinstrumenten als een eenvoudige geheugenoscilloskoop is dit IC geschikt. Audiosignalen kunnen kontinu omgezet worden, video signalen zijn ook voor de ZN447 te snel om kontinu beeld voor beeld in 'real time' omgezet te worden. Maar een stilstaand video beeld kan wel in redelijke tijd gedigitaliseerd worden. De kaart is voorzien van zoveel mogelijk aansluitingen om allerlei toepassingen mogelijk te maken. Hier wordt niet verder besproken hoe signalen gedigitaliseerd moeten worden. Het is vrij eenvoudig om naar aanleiding van andere informatie de hier gepresenteerde schakeling van een voorzet te voorzien.

De eigenschappen van de ZN427 in het kort:
Eén-kanaals 8-bits A/D-omzetter.
Minimale konversietijd 10 μS.
Referentiespanningsbron van 2,56 V op de chip.
Ingangsspanning unipolair of bipolair.
Met weerstanden wordt het ingangsspanningsbereik ingesteld.

5.13.1 De werking van het IC
De ZN427 werkt volgens de "successive approximation" methode. De DAC, de komparator, het "successive approximation register (SAR)" en een referentiespanningsbron zitten allemaal in de ZN427. Een laag



Figuur 5-X16. Inwendig blokschema van de ZN427

aktieve puls van minimaal 250 ns op de –Schrijfingang zal de omzetting starten. De –Busy-uitgang wordt direkt bij de dalende flank op –Wr laag. De eerste beslissing wordt genomen bij de eerste dalende klokflank daarna. Op de negende dalende klokflank zal –Busy weer hoog worden, dit is het teken dat de konversie klaar en de data beschikbaar is. –Busy kan dus gebruikt worden om een interruptsignaal af te geven. Het dataregister kan op elk moment zonder storing van de omzetting gelezen worden, de inhoud is dan echter niet zinvol. –Read kan met –Busy verbonden worden, als er geldige data beschikbaar is, zal die op de uitgang te zien zijn. De uitlezing moet dan via een parallelle ingangspoort gebeuren. Als –Read hoog is, zijn de datalijnen hoogimpedant. De totale omzetting duurt dus 9 klokcyclussen. Bij de maximale klokfrekwentie van 900 kHz is dat dus 10μS. De startpuls (–Read) en de eerste negatieve klokflank moeten goed gesynchroniseerd zijn, met het klokcircuit op deze kaart is dat automatisch het geval. Het enige wat daarbij van belang is, is dat de startpuls minstens 250 ns lang moet zijn en op zijn langst 200 ns korter dan de eerste klokpuls. Door de eigenschappen van het gebruikte klokcircuit is de eerste klokpuls langer dan de rest, dit helpt dus om aan de timing-voorwaarden te voldoen. Bij andere toepassingen moet er minstens 1,5 μs voorbij gaan tussen de dalende flank op –Wr en de dalende klokflank waarop de eerste beslissing wordt genomen. De stijgende flank aan het eind van de –Wr-startpuls mag niet binnen 200 ns samenvallen met een dalende klokflank. Het beste kan het eind van de startpuls (stijgende flank op –Wr) samenvallen met een stijgende flank op de klokingang. Als de omzetterklok met de klok van de computer gesynchroniseerd is, kan de CPU na een start een aantal NOP-opdrachten uitvoeren om na exakt negen klokcyclussen de konverter uit te lezen.

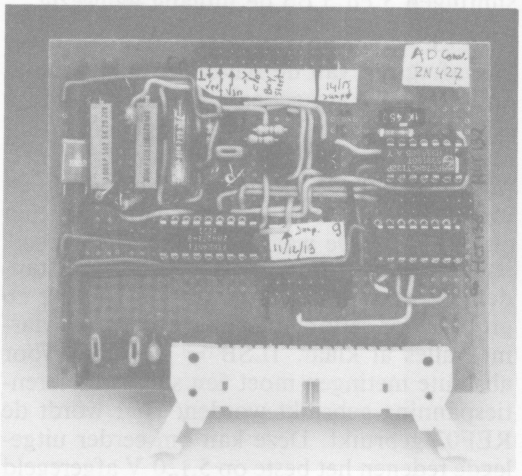


Foto 11. Een prototype van de beschreven omzetter

5.13.2 Het programma

De ZN427 A/D-omzetter vraagt niet veel aandacht van de programmeur. De omzetting wordt gestart door een schrijfopdracht. Er moet daarna minimaal 10 μs gewacht worden. Daarna kan met een leesopdracht de digitale waarde van het signaal ingelezen worden.

Een Basic-voorbeeld:

```
0,OUT 0,0   Start de omzetting.
            Wacht 10 μs.
X=IN(0)     Lees de digitale waarde in.
```

5.13.3 De kaart

In het schema zijn vijf schakelingen te onderscheiden. 1) De kontrolesignaal-behandeling, 2) de oscillator, 3) de negatieve stroomvoorziening, 4) de referentiespanning, 5) de ingangsspanningsinstelling.

1) De kontrolesignalen worden met een HCT138-demultiplexer tot een leespuls en een schrijfpuls verwerkt. Deze schakeling is bij de TTL-parallel in-/uit-poort besproken. Een voordeel bij deze toepassing is dat er vier kaarten tegelijk gestart kunnen worden, die daarna elk apart uit te lezen zijn.

2) Met twee Schmitt-triggers uit IC3 is een oscillator opgebouwd die netjes met het Start Omzetting- signaal gesynchroniseerd is. Op die manier kan de A/D-konverter met maximale snelheid met de diverse computers werken. Als door een schrijfaktie de Start Of Conversion-ingang laag wordt gemaakt, zal de −Busy-uitgang laag worden. IC3A zal nu de oscillator rondom IC3B vrijgeven, de oscillator kan dan starten. Daardoor verloopt de omzetting altijd goed synchroon met de schrijfpuls die de konversie start en dus synchroon met de computer. JP14 en 15 zijn opgenomen om ook met een externe klok te kunnen werken. JP15 is gesloten bij gebruik van de klok op de kaart. Met P4 kan de frekwentie van de oscillator enigszins worden afgeregeld. Een vaste weerstand van 330 Ω voldoet meestal ook.

Als een ZN447, ZN448 of ZN449 in plaats van de ZN427 wordt gebruikt, kan IC3 vervallen. Deze IC's hebben namelijk een interne oscillator. Er hoeven alleen een externe weerstand (potmeter) en kondensator aan toegevoegd te worden. De weerstand mag maximaal 2 kΩ zijn. De kondensator moet tussen de 100 pF (900 kHz klok) en 100 nF (ruim 1 kHz klok) groot zijn.

3) Tijdens de omzetting moet er een kleine negatieve stroom vanuit pin 5 vloeien. Deze stroom moet tussen 25 μA en 150 μA liggen, aanbevolen is 65 μA. Met deze schakeling rond T1 wordt vanuit het −Busy-signaal op het juiste tijdstip een kleine negatieve spanning gemaakt. JP13 en 14 moeten gesloten zijn bij negatieve stroomvoorziening via T1, en JP12 open. Deze schakeling produceert enige ruis, met een externe voeding is dat te voorkomen. Bij een externe negatieve stroombron is stroombegrenzingsweerstand nodig. De waarde is ongeveer 15kΩ/V negatieve spanning, bij −5 V voldoet 82k.

4) Weerstand R4 zorgt voor een stroom door de interne spanningsreferentie. De afgegeven spanning is ±2,56 V. Met R4=390Ω loopt er (5−2,56)/390 = ±6,4 mA. Zonder deze weerstand zou er geen referentiespanning aanwezig zijn. JP10 moet gesloten zijn als de interne referentie wordt gebruikt. Op deze referentie kunnen tot vijf stuks ZN427 worden aangesloten. Daardoor is de gelijkloop van de konverters verzekerd en wordt tevens het stroomverbruik beperkt. Voor externe toepassingen mag er tot 3 mA stroom worden afgenomen. Een externe referentie moet tussen +1,5 V en +3 V liggen.

5) Met de schakeling rondom de drie potmeters P1, P2 en P3 en de drie weerstanden R1, R2 en R3 kan het ingangsbereik bepaald worden. In theorie kan binnen zekere grenzen elk ingangsbereik worden gekozen door de waarde van deze weerstanden aan te passen. Zonder netwerk is de volle schaal spanning gelijk aan de referentiespanning. Met het netwerk worden grotere unipolaire signalen verzwakt tot dit bereik. Kleinere signalen ($V_{in} < +2{,}56$ V) moeten eerst versterkt worden. Bipolaire signalen worden van een zodanige offset voorzien dat de konverter een unipolair signaal ziet. In de tabel bij figuur 5-8 is te zien hoe de schakeling op vier veel gebruikte ingangsbereiken kan worden ingesteld, bij het afregelen komt de berekening van de weerstandswaarden aan bod. Opvallend is daarbij dat de funktie van de potmeters verschilt. Als er 0R staat, betekent dat er een draadbrug voor in de plaats kan. De rest van het Mikrosysteem is er op gericht om zoveel mogelijk tussen 0 V en +5,12 V te werken. De signalen van sensors zullen vaak naar een spanning tussen 0 V en +5,12 V vertaald worden. Dit ingangsbereik is dus de meest voor de hand liggende keuze.

5.13.3.1 Afregelen
Het afregelen en bepalen van de weerstandswaarden is voor unipolaire en bipolaire werking anders.

- Unipolair: R1/P1 en R3/P3 funktioneren als spanningsdeler. De ingangsspanning wordt zo gedeeld dat de spanning op pin 6 (IN) maximaal V_{ref} = 2,56 V is. Om dit circuit op de ingangsimpedantie van de ZN427 aan te passen kan de volgende vuistregel gevolgd worden:

$G = V_{max}/V_{ref}$; $R3+P3 = G \cdot 4\ k\Omega$;
$R1+P1 = 4 \cdot G/(G-1)\ k\Omega$.
Voorbeeld voor 10 V volle schaal:
$G = 10/2{,}5 = 4$, $R3+P3 = 4 \cdot 4\ k\Omega = 16k\Omega$,
$R1+P1 = 4 \cdot 4/(4-1)k\Omega =$
$16/3k\Omega \approx 5{,}33k\Omega$.
De weerstand P3+R3 moet met P3 minimaal ±5% gevarieerd kunnen worden. Met P2+R2 wordt de offset zo ingesteld dat de overgang tussen waarde 0_d en 1_d precies op ½ LSB gebeurt, bij +2,56 V volle schaal is dat dus 5 mV op pin 6. De aangegeven waarde voor P2 en R2 is goed voor elke V_{in} groter dan $1{,}5 \cdot V_{volle\ schaal}$ (bij V_{ref} = 2,56 V, $V_{in} > 3{,}84$ V).

Het afregelen voor een unipolaire ingangsspanning gaat in twee stappen. Om af te regelen moet een programma lopen dat de ZN427 kontinu met geschikte intervallen start en uitleest.

1) Zet een spanning op de ingang die gelijk is aan de volle schaal−1½ LSB. 1 LSB = volle schaal/256, dus bij 5,12 V_{vs} is de afregelspanning voor 255_d 5,090 V. De volle schaal wordt nu zo afgeregeld dat bit 0 tussen 0 en 1 heen en weer gaat, terwijl de andere bits hoog blijven. De decimale uitgangswaarde gaat dus voortdurend tussen 254 en 255 heen en weer.
2) Zet een spanning van +½ LSB (0,01 V) op de ingang en regel de nulinstelling af tot bit 0 tussen 0 en 1 heen en weer gaat. Dus tussen decimaal 0_d en 1_d.

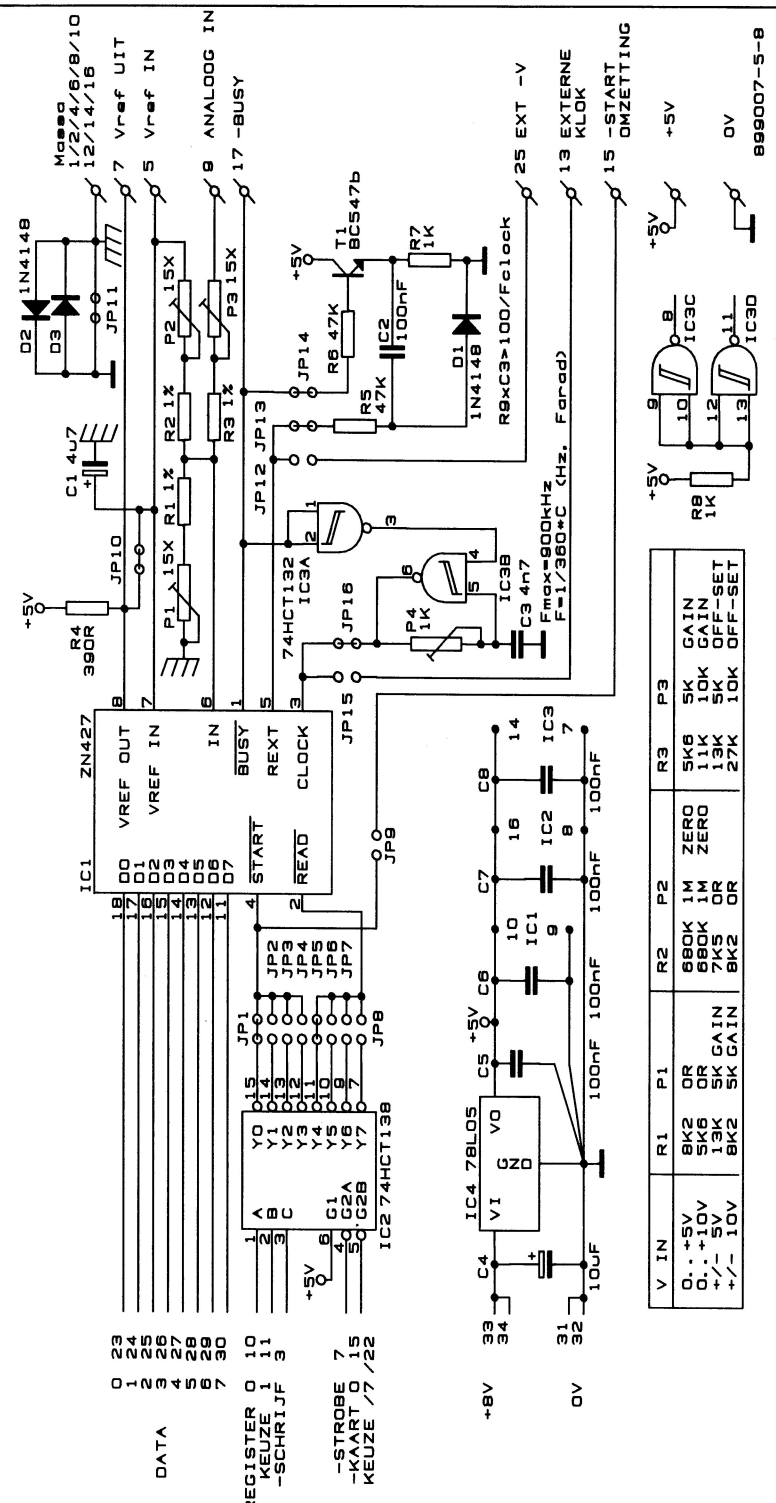
- Voor bipolaire ingangssignalen wordt met P2+R2 eerst een offsetspanning gelijk aan de halve volle schaal spanning op de ingang pin 6 gezet. De weerstandswaarden kunnen met de volgende vuistregel berekend worden:

* Volle schaal = $\pm G \cdot V_{ref}$;
$R3+P3 = G \cdot 8\ k\Omega$;
$R1+P1 = 8 \cdot G/(G-1)\ k\Omega$; $R2+P2 = 8k\Omega$.
Voorbeeld voor ±10 V volle schaal, $1LSB = 2 \cdot V_{vs}/256$.
$G = 10/2{,}5 = 4$, $R3 + P3 = 4 \cdot 8\ k\Omega = 32\ k\Omega$, $R1+P1 = 8 \cdot 4/(4-1)\ k\Omega = 32/3k\Omega = 10{,}66k\Omega$, $R2+P2 = 8k\Omega$. Voor R2+P2 zijn in de tabel bij het schema voor ±5 V en ±10 V iets andere waarden aangegeven. Daarmee wordt een optimale aanpassing tussen ingangsnetwerk en ZN427-ingang bereikt.
Het afregelen voor een bipolaire ingangsspanning gaat ook in twee stappen, maar die moeten een aantal keren herhaald worden. Om af te regelen moet een programma lopen dat de ZN427 kontinu met intervallen van voldoende lengte start en uitleest.
1) Zet de negatieve volle-schaalspanning min −LSB op de ingang, dat is dus $-(V_{vs}-1LSB) = -V_{vs}+1LSB$. Bij een volle-schaalspanning van ±5,12 V is dat dus −5,10 V. Bit 0 moet nu tussen 0 en 1 heen en weer gaan, de rest moet 0 zijn, decimaal gaat de uitgang dus heen en weer tussen 0_d en 1_d.
2) Zet de positieve volle-schaalspanning −1½ LSB op de ingang, bij 5,12 V_{vs} is dat dus 5,09 V. Regel nu weer af op bit 8, variëren tussen decimaal 254 en 255.
3) Herhaal dit minstens twee keer.

5.13.3.2 Een belangrijke eigenschap van deze kaart is de hoeveelheid externe aansluitingen waarmee het hele omzettingsproces bestuurd en gevolgd kan worden door de randschakeling die er op is aangesloten. Om de kaart te gebruiken hoeft overigens alleen maar de te meten spanning op de ingang te worden aangesloten. Alle andere aansluitingen zijn er om extra mogelijkheden te geven.

De externe aansluitingen zijn de volgende:

1/2)	Massa	Voor aansluiten verdere schakelingen.
3)	V_{ref} out	Verbonden met de interne V_{ref} van 2,5..2,6 V.
5)	V_{ref} in	Om een externe referentie aan te sluiten.
7)	Analoog in	Om de ingangsspanning op aan te sluiten.
9)	Ext −V	Externe negatieve spanning voor de komparator.



Figuur 5-8. ZN427 A/D-omzetter

11)	Ext klok	Om een externe klok aan te sluiten.
13)	−Busy	Is laag zolang de konversie plaats vindt.
15)	−Start konv	Om de konversie met een externe gebeurtenis te kunnen synchroniseren bijvoorbeeld voor video.

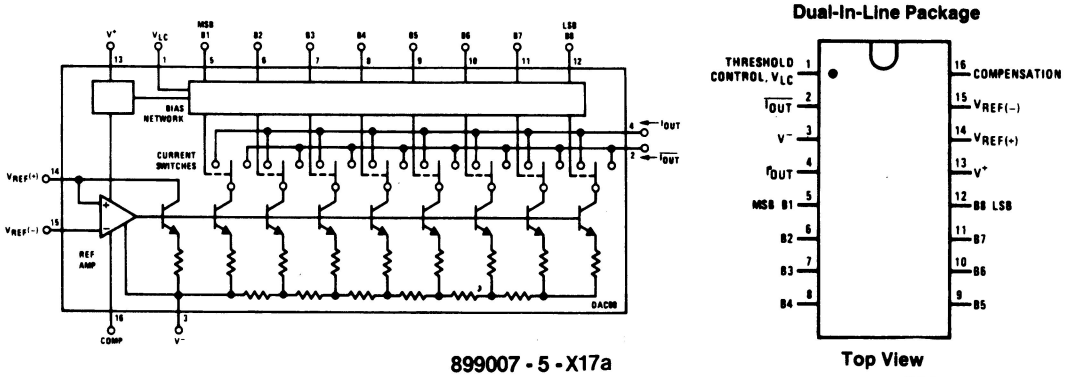
5.14 DAC08 D/A-omzetter

Deze D/A-omzetterkaart is geschikt voor uiteenlopende toepassingen. De uitgang bestaat uit twee komplementaire stroombronnen. De som van beide uitgangsstromen is altijd gelijk aan de (referentie-) ingangsstroom. De DAC08 is een zogenaamde vermenigvuldigende D/A-omzetter. Een ingangssignaal kan worden vermenigvuldigd met een faktor 1/X (=delen door X). Het ingangssignaal bestaat uit een variërende ingangsstroom. Een andere belangrijke eigenschap van de DAC08 is de snelheid, de tijd om vanaf het veranderen van de digitale ingangswaarde tot een voldoende stabiele uitgangsstroom te komen is typisch 85 ns.

Eigenschappen van de DAC08-kaart:
8-bits lineariteit en monotoniciteit.
Settling time tot ±0,5 LSB is typisch 85 ns bij I_{ref} = 2 mA.
Uitgangsspanning van de kaart te kiezen uit: unipolair positief, unipolair negatief of bipolair.
Vermenigvuldigende DAC, ingangsstroom tussen 100 μA en 4 mA.
Voeding van de kaart +15 V en −15 V.
Voeding van de DAC08 ±4,5..±18 V, hier +5/−15 V.
Bij ±5 V voeding verbruikt de DAC08 typisch 33 mW.

5.14.1 De speciale eigenschappen

De uitgangen van de DAC08 kunnen met een weerstand, een kondensator of een spoel afgesloten worden. Ze leveren een komplementaire stroom, het totaal van Iout en −Iout is altijd gelijk aan de volle-schaalstroom. Als een digitale ingang hoog (1) wordt gemaakt, vloeit er meer stroom door pin 4 en minder door pin 2. Als een uitgang niet wordt gebruikt moet hij aan de massa gelegd worden, zodat de uitgangsstroom in de andere uitgang kan blijven vloeien. De kapaciteit van de uitgangen is inklusief behuizing ongeveer 15 pF. Bij een belastingsweerstand groter dan 500 Ω zal de tijdkonstante van het uitgangscircuit al groter zijn dan de 85 ns settling time van de DAC08 zelf. Om de volledige snelheid echt te gebruiken moeten de uitgangsbuffer en het printontwerp zorgvuldig uitgedacht worden. De uitgangsspanningen kunnen bij elke toegestane voedingsspanning tussen −10 en +18 V variëren zonder dat de volle-schaalstroom beïnvloed wordt. Daardoor kan een stroom naar spanning-omzetting met een simpele weerstand uitgevoerd worden. Het uitgangsspanningsbereik is niet afhankelijk van de positieve voedingsspanning, maar wordt volledig bepaald door de negatieve voedingsspanning. Het uitgangsbereik is gelijk aan de negatieve voedingsspanning plus 36 V; $-V_{voed}+36$ V. De maximale negatieve

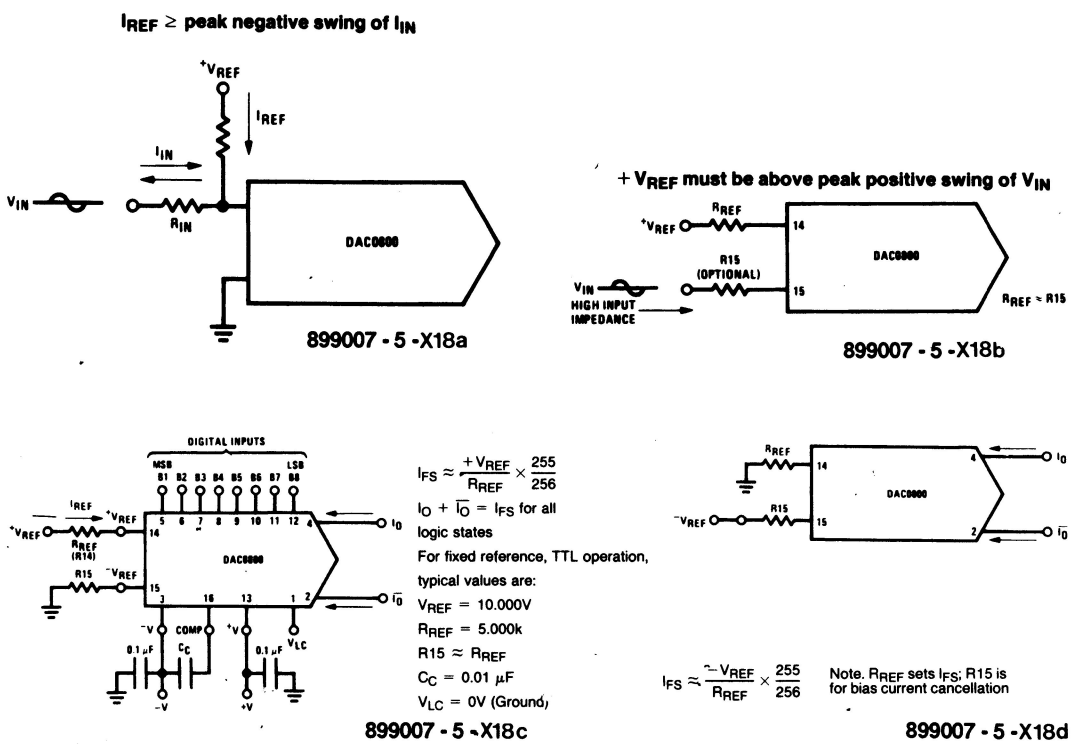


Figuur 5-X18. Inwendig blokschema en aansluitgegevens van de DAC08

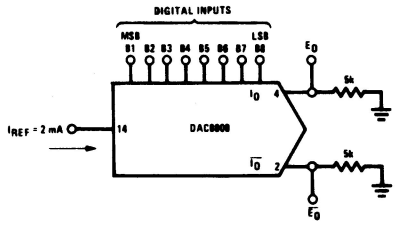
uitgangsspanning is $-V_{voed}+(I_{ref}\cdot 1k\Omega)$, dat komt vaak overeen met $-V_{voed}+2{,}5$ V. Met de hier gebruikte -15 V voeding is dat dus tussen $-12{,}5$ en $+21$ V. Met de twee uitgangen kunnen allerlei zaken direkt geregeld worden. Zo kan bijvoorbeeld de offset van een opamp met een computer op 0 afgeregeld worden. Er kan ook een gebalanceerde lijn of trafo mee aangestuurd worden. In het uitgangssignaal is bijna geen digitale storing vanaf de bus te zien, met een kleine kondensator is dat ten koste van de reaktiesnelheid nog te verbeteren.
De voedingsspanning mag over een groot bereik variëren en is niet kritisch. De digitale en de analoge voedingsspanning worden gemeenschappelijk aangesloten. Het stroomgebruik wordt niet beïnvloed door het schakelen, met de gebruikelijke 100nF ontkoppelkondensatoren is de voeding voldoende ontstoord.
De uitgangsstroom wordt nauwkeurig bepaald door de referentiestroom, bij volle schaal is $I_{fs} = (255/256)\cdot I_{ref}$.

Het aanbevolen bereik van de referentiestroom voor vaste referentie is tussen $+0{,}2$ en $+4$ mA. Bij ± 5 V-voeding is de aanbevolen referentiestroom 1 mA, bij een hogere voedingsspanning 2 mA. Bij vermenigvuldigend werken kan I_{ref} zelfs 4μA zijn, monotoniciteit is gegarandeerd vanaf 100 μA. Als een wisselstroom als referentie wordt gebruikt, moet het IC ontkoppeld worden. Daarvoor wordt C1 (C_{comp}) op pin 16 aangesloten. De waarde van C_c hangt af van de impedantie die op pin 14 is aangesloten; C_c[pF] = 15 · R14 [kΩ]. Voor de snelst mogelijke reaktie tijd moet C_c zo klein mogelijk zijn, dus R14 ook.

Hieronder volgen een aantal tekeningen uit PMI-notitie (application note) AN-17. Deze geven een inzicht in de diverse manieren van werken. Daarbij staan ook enige ideeën voor toepassingen, dit kan een aanzet zijn om een andere toepassing te realiseren.

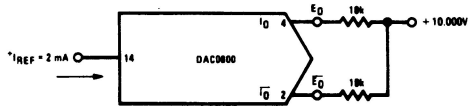


Figuur 5-X18a t/m j. Applikatiegegevens voor de DAC08



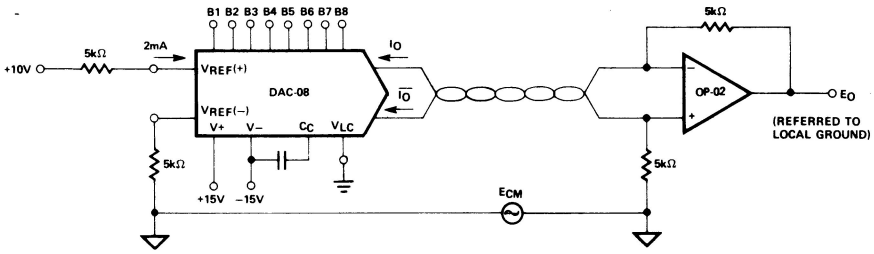
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	I_O mA	$\overline{I_O}$ mA	E_O	$\overline{E_O}$
Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	1.992	0.000	−9.960	0.000
Full Scale − LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	1.984	0.008	−9.920	−0.040
Half Scale + LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	1.008	0.984	−5.040	−4.920
Half Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	1.000	0.992	−5.000	−4.960
Half Scale − LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	0.992	1.000	−4.960	−5.000
Zero Scale + LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	0.008	1.984	−0.040	−9.920
Zero Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1.992	0.000	−9.960

899007 - 5 - X18e



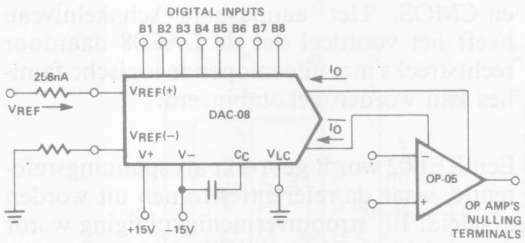
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_O	$\overline{E_O}$
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	−9.920	+10.000
Pos. Full Scale − LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	−9.840	+9.920
Zero Scale + LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	−0.080	+0.160
Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	0.000	+0.080
Zero Scale − LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	+0.080	0.000
Neg. Full Scale + LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	+9.920	−9.840
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	+10.000	−9.920

899007 - 5 - X18f



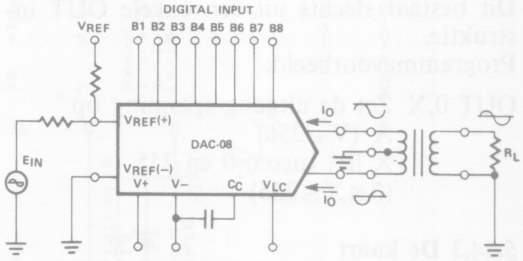
	B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8	E_O
POS FULL SCALE −LSB	1 1 1 1 1 1 1 1	+9.920
POS FULL SCALE 2LSB	1 1 1 1 1 1 1 0	+9.840
(+) ZERO SCALE	1 0 0 0 0 0 0 0	+0.040
(−) ZERO SCALE	0 1 1 1 1 1 1 1	−0.040
NEG FULL SCALE +2LSB	0 0 0 0 0 0 0 1	−9.840
NEG FULL SCALE +1LSB	0 0 0 0 0 0 0 0	−9.920

899007 - 5 - X18g



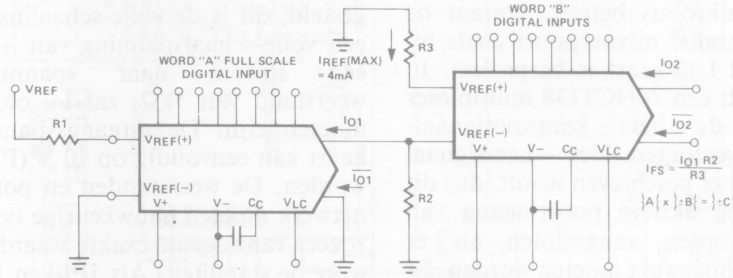
- DAC OUTPUT IN 1nA PER STEP
- REPLACES NULLING POTENTIOMETER
- WORKS WITH OP-07, OP-05, SSS725
- V_{OS} NULLED BELOW NOISE LEVEL

899007 - 5 - X18h



- BIPOLAR OUTPUT WITH OFFSET BINARY CODING
- PROVIDES DC ISOLATION BETWEEN SOURCE AND LOAD
- HIGH VOLTAGE OUTPUT CAPABILITY
- USEFUL WITH PULSE OR SINE WAVE REFERENCE INPUT
- USEFUL WITH PULSE OR SINE FUNCTION DIGITAL INPUT

899007 - 5 - X18i



- I_{FS} IS THE PRODUCT OF TWO DIGITAL INPUT WORDS
- MAY BE USED AS AN 8 x 8 DIGITAL MULTIPLIER WITH ANALOG OUTPUT
- ELIMINATES DAC AFTER DIGITAL MULTIPLICATION
- FUNCTIONS WITH ANY LOGIC FAMILY
- NOTE: LIMIT WORD "B" INPUT RISE AND FALL TIMES TO 200nSEC MINIMUM

899007 - 5 - X18j

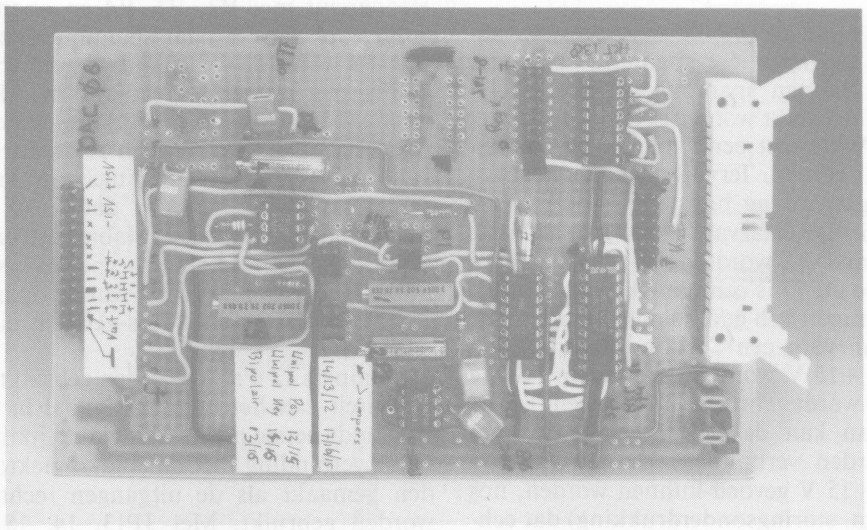


Foto 12. Het prototype van de DAC08-kaart

5.14.2 Het programma

Dit bestaat slechts uit een enkele OUT instruktie.
Programmavoorbeeld:

OUT 0,X Zet de uitgang spanning op
$X \cdot (V_{vs}/256)$
X ligt tussen 0 en 255
$(0 \leq X \leq 255)$

5.14.3 De kaart

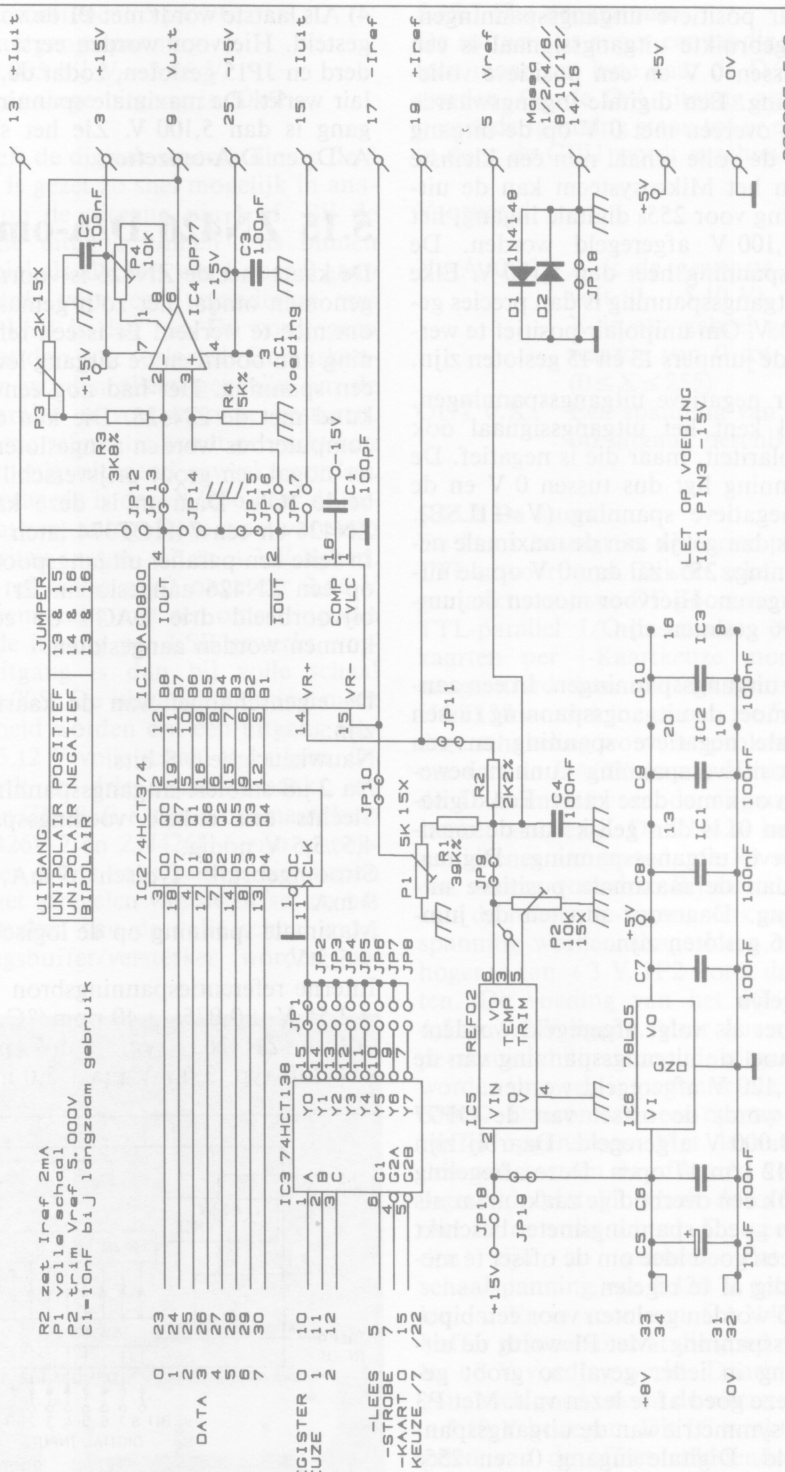
De DAC08 wordt omgeven door drie verschillende schakelingen, de businterface, voedingsspanningsstabilisatie, de spanningsreferentie en de uitgangsstroom naar spanning omzetter.

Voor wat de mikrobus betreft, bestaat de kaart uit een parallel uitvoerpoort zoals bij de TTL parallel I/O-kaart is besproken. In dit schema wordt een 74HCT138 multiplexer gebruikt om de hele kontrolesignaalbehandeling te verzorgen. Het –Leessignaal is altijd hoog als er geschreven wordt, dus dit kan op de hoog aktieve poortingang van de HCT138 worden aangesloten als er –Schrijfpulsen opgewekt moeten worden. Er kunnen dus acht kaarten op een –Kaartkeuzesignaal aangesloten worden. In principe kan de DAC08 op elke parallel uitvoerpoort worden aangesloten. Deze D/A-omzetter zou zelfs als een vervolgkaart voor de drie reeds besproken parallel I/O-poorten kunnen zijn ontworpen.

De voeding van de DAC08 moet met een positieve en een negatieve spanning gebeuren. Daarvoor kunnen spanningen tussen ±4,5 tot ±18 V gebruikt worden. Het is niet nodig dat de DAC08 met een symmetrische spanning wordt gevoed. Terwijl alleen de negatieve voedingsspanning bepalend voor het uitgangsbereik is. Daarvan wordt hier gebruik gemaakt, de DAC wordt met +5 V en −15 V gevoed. De OP77 is een nauwkeurige opamp die wel symmetrisch gevoed moet worden. De REF02 kan voor een "schone" voeding via JP18 met +15 V worden verbonden. Als de OP77 niet wordt gebruikt, is ook geen +15 V nodig. Dan kan de REF02 via JP19 met +8 V worden verbonden. De DAC08 zou ook met +15 V gevoed kunnen worden, nodig is (i.v.m. storingsonderdrukking) dat echter niet. Het logische schakelniveau hangt af van de spanning op pin 1, het is gelijk aan de spanning op pin 1+1,4 V. Met pin 1 aan de massa werkt het dus prima met TTL en CMOS. Het aanpasbare schakelniveau heeft het voordeel dat de DAC08 daardoor rechtstreeks met uiteenlopende logische families kan worden gekombineerd.

Een REF02 wordt gebruikt als spanningsreferentie, waar de referentiestromen uit worden afgeleid. Bij stroomvermenigvuldiging wordt de spanningsreferentie uiteraard niet gebruikt. Met P2 kan de referentie op +5,120 V afgeregeld worden. Dat is nuttig als de REF02 ook meteen als referentie voor andere schakelingen wordt gebruikt. Met P1 wordt de referentiestroom door de DAC08 ingesteld, dit is de volle-schaalinstelling. Voor een volle-schaalspanning van +5,120 V met een stroom naar spanningsomzetterweerstand van 5kΩ, zal I_{ref} ongeveer 1 mA moeten zijn. De uitgangsspanning van de kaart kan eenvoudig op 10 V (P3) afgeregeld worden. De weerstanden en potmeter in dit netwerk moeten nauwkeurige types zijn, niet zozeer vanwege de exakte waarde, maar vanwege de stabiliteit. Als JP10 en 11 open gelaten worden zijn de ingangen via de eindkonnektor bereikbaar. Dit is nodig voor vermenigvuldiging. JP9 is opgenomen om te kunnen kiezen tussen de spanningsreferentie op de kaart of een externe referentiespanningsbron.

Het circuit met R3, P3, R4 en opamp IC4 zorgt voor stroom naar spanning omzetting. Met P3 wordt de weerstand van de terugkoppellus precies gelijk gemaakt aan R4. De weerstanden R4 en R3+P3 kunnen het beste ongeveer 5kΩ zijn. Bij een referentiestroom van ±1mA is de uitgangsspanning dan 5,12 V, bij ±2 mA is dat ±10 V. De weerstanden moeten zeer stabiel zijn en de instelpotmeter een 15 slagen-type. P4 is voor de nulinstelling van de offset van de opamp, dit is bij een OP77 en 8-bits-gebruik eigenlijk overbodig.
De jumpers 12 t/m 17 worden gebruikt om de polariteit van het uitgangssignaal in te stellen. In de eerste plaats kan via de jumpers 12 en 17 verbinding met de eindkonnektor worden gemaakt als de uitgangen rechtstreeks worden gebruikt. Met JP13, 14, 15 en 16 wordt gekozen voor de polariteit van het uitgangssignaal.



Figuur 5-9. DAC08 D/A-omzetter

A) Unipolair positieve uitgangsspanningen. Het meest gebruikte uitgangssignaal is een spanning tussen 0 V en een positieve volleschaalspanning. Een digitale ingangswaarde van 0_d komt overeen met 0 V op de uitgang en 255_d met de volle schaal min één kleinste stap. Binnen het Mikrosysteem kan de uitgangsspanning voor 255_d digitale ingang, het beste op 5,100 V afgeregeld worden. De volle-schaalspanning heet dan 5,120 V. Elke stap in de uitgangsspanning is dan precies gelijk aan 0,02 V. Om unipolair positief te werken moeten de jumpers 13 en 15 gesloten zijn.

B) Unipolair negatieve uitgangsspanningen. In dit geval kent het uitgangssignaal ook maar één polariteit, maar die is negatief. De uitgangsspanning ligt dus tussen 0 V en de maximale negatieve spanning (V_{vs} – 1LSB). Digitaal 0_d is dan gelijk aan de maximale negatieve spanning, 255_d zal dan 0 V op de uitgang te zien geven. Hiervoor moeten de jumpers 14 en 16 gesloten zijn.

C) Bipolaire uitgangsspanningen. In een aantal gevallen moet de uitgangsspanning tussen een maximale negatieve spanning en een maximale positieve spanning kunnen bewegen. Dat kan ook met deze kaart. Een digitale waarde van 0_d is dan gelijk aan de maximale negatieve uitgangsspanning. Digitaal 255_d geeft dan de maximale positieve uitgangsspanning. Daarvoor moeten de jumpers 13 en 16 gesloten zijn.

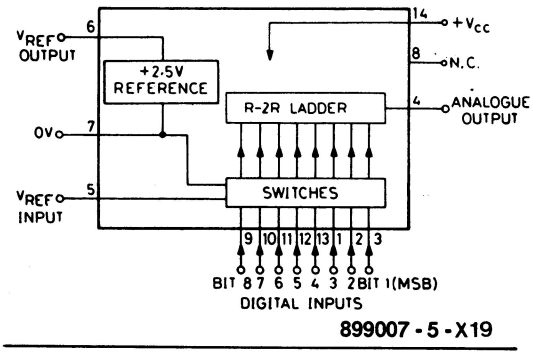
5.14.4 Afregelen

De kaart moet als volgt afgeregeld worden:
1) Met P2 moet de uitgangsspanning van de REF02 op 5,120 V afgeregeld worden.
2) Met P4 wordt de offset van de OP77 opamp op 0.000 V afgeregeld. Daarbij zijn de jumpers 12 t/m 17 open. Deze afregeling is feitelijk ook een overbodige zaak, maar als men over een goede spanningsmeter beschikt is het altijd een goed idee om de offset te meten en zonodig af te regelen.
3) JP13 en 16 worden gesloten voor een bipolaire uitgangsspanning. Met P1 wordt de uitgangsspanning in ieder geval zo groot gemaakt dat deze goed af te lezen valt. Met P3 wordt nu de symmetrie van de uitgangsspanning ingesteld. Digitale ingang 0_d en 255_d moeten een precies even grote spanning met tegengestelde polariteit op de uitgang laten zien.
4) Als laatste wordt met P1 de volle schaal ingesteld. Hiervoor worden eerst JP16 verwijderd en JP15 gesloten, zodat de DAC unipolair werkt. De maximale spanning op de uitgang is dan 5,100 V. Zie het stuk over de A/D- en D/A-omzetters.

5.15 ZN426 D/A-omzetter.

De kaart met de ZN426 is voornamelijk opgenomen omdat het zo'n gemakkelijk IC is om mee te werken. Er is een referentiespanning aan boord en de uitgang levert direkt al een spanning. Het had nog eenvoudiger gekund met de ZN428. Die kan direkt op de computerbus worden aangesloten. Er is echter nogal een groot prijsverschil tussen deze beide IC's. Daarom is deze kaart met de ZN426 en een 74HCT374 latch opgebouwd. In feite een parallel uitgangspoort met daarop een ZN426 aangesloten. Er zouden ook bijvoorbeeld drie DAC's op een PPI8255 kunnen worden aangesloten.

De eigenschappen van de kaart en het IC zijn:
Nauwkeurigheid 8 bits.
Na 2 μS stabiele uitgangsspanning.
Slechts een enkele voedingsspanning van 4,5..5,5 V nodig.
Stroomgebruik typisch 5 mA, maximaal 9 mA.
Maximale spanning op de logische ingangen +5,5 V.
Interne referentiespanningsbron +2,55 V ±0,075, ±40 ppm/°C.
Offset ZN426J typ. 5 mV max. 8 mV, ZN426E typ. 3,0 mV max. 5,0 mV.



Figuur 5-X19. Intern blokschema van de ZN426

Temperatuurkoëfficiënt 5 μV/°C.
Volle-schaaluitgangsspanning
2,550 V ±0,005 bij V_{ref} 2,56 V.
Impedantie analoge uitgang is 10kΩ.

De DAC geeft de digitale waarde die op de 8 datapennen is gezet zo snel mogelijk in analoge vorm op de uitgang pin 4 af. Bij de ZN426 is de uitgang binnen 2 μs binnen ½ LSB stabiel als alle bits van 1 naar 0 gaan of omgekeerd, voor een verandering van slechts een LSB is dat 1μs. Er wordt geen strobe of wat dan ook verlangd. De buskontrolesignalen worden alleen gebruikt om de HCT374 parallel uitvoerpoort te besturen. Als een externe referentie wordt gebruikt kan er semi-vermenigvuldigend gewerkt worden. De uitgangswaarde is dan X/256 keer de externe referentiespanning. Deze moet voor een goede lineariteit tussen +2 en +3 V liggen. De interne referentie geeft ongeveer 2,56 V af, zo kan eenvoudig met een omzetting van 0,01 V op de ingang per LSB gewerkt worden. De uitgang is dan bij volle schaal 2,550 V ±0,005. De uitgangsspanning moet dus verdubbeld worden om een uitgang tussen 0 en +5,12 V volle schaal te krijgen. De ZN426 wordt in drie types gemaakt, de ZN426J-8 en ZN426E-8 zijn 8-bits nauwkeurig, de ZN426E-7 en ZN426E-6 zijn respektievelijk 7- en 6-bits nauwkeurig, niet kopen dus. Voor het afregelen van de offset en het instelbaar maken van de volle schaal moet een uitgangsbuffer/versterker worden gebruikt.

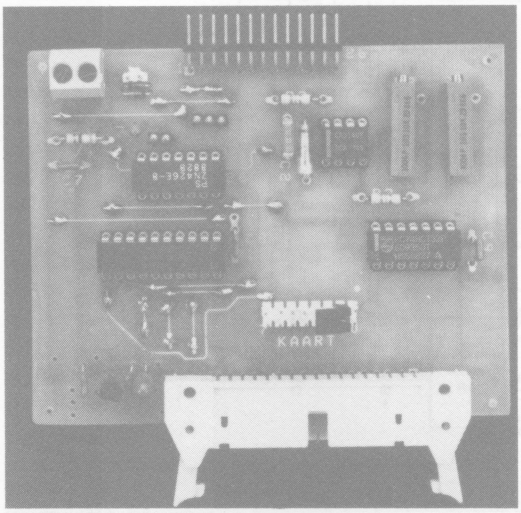


Foto 13. Prototype van de ZN426 DAC-kaart

5.15.1 Het programma

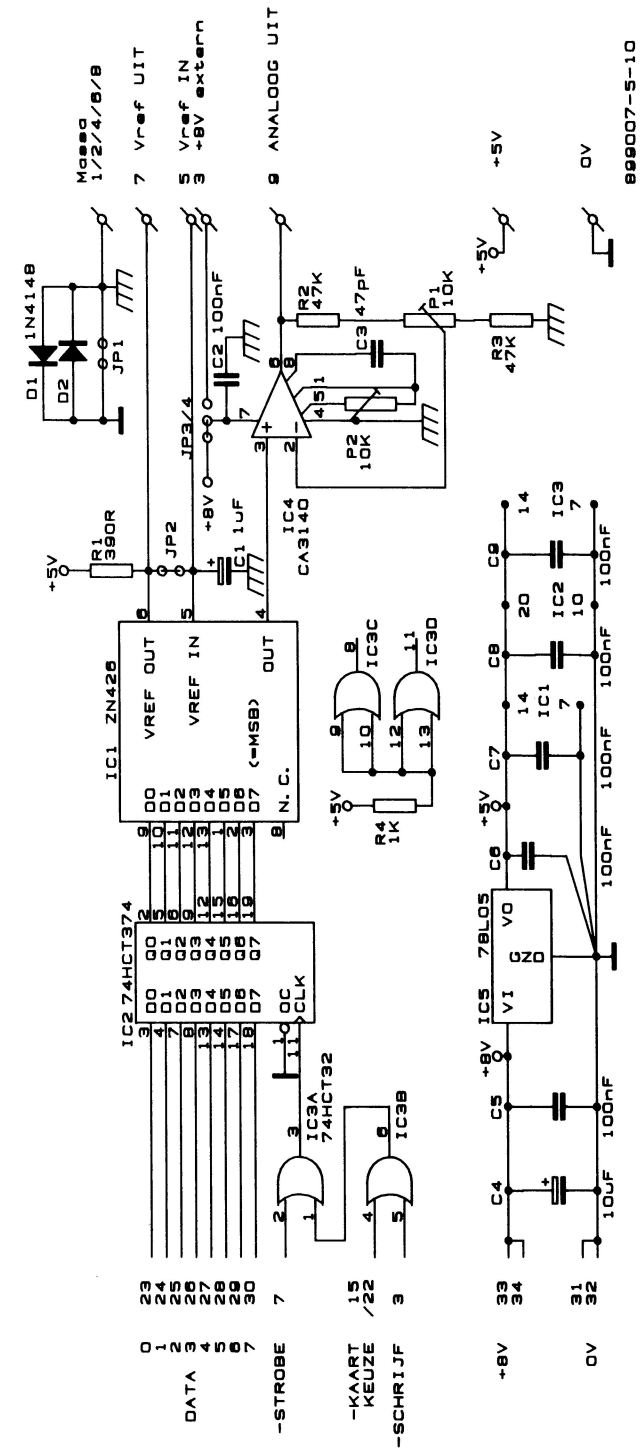
De software is super eenvoudig. Er moet alleen maar een byte naar de D/A geschreven worden. Op de D/A-uitgang zal dan de bijpassende spanning staan tot er een nieuw byte door de CPU wordt geschreven.

Voorbeeld:

X=A/0,020	A is de gewenste spanning in volt (0..+5,10 V). X is een geheel getal met een waarde van 0 tot en met 255. (0≤X≤255)
OUT 0,X	Een spanning van A volt is nu op uitgang beschikbaar.

5.15.2 De kaart

De kaart bestaat in de eerste plaats uit een TTL-uitvoerpoort. Bij dit schema is gebruik gemaakt van twee OF-poorten, net als bij de TTL-parallel I/O-basiskaart. Als meerdere kaarten per |-Kaartkeuze moeten worden aangestuurd kan de dekodering met een HCT138 worden toegepast, zie 5.7.5.2 waarin deze schakeling wordt besproken en het schema van de DAC08-kaart. Verder zijn alleen de D/A-omzetter en de uitgangsbuffer/versterker aanwezig. De ZN426 heeft een referentiezener aan boord, via R1 wordt die van een stroom voorzien. Bij ratiometrisch werk kan de referentie-ingang ook op een andere spanning worden aangesloten, mits die niet hoger is dan +3 V. JP2 wordt dan open gelaten. De voeding van het IC moet tussen 4,5 en 5,5 V liggen. Voor een optimale temperatuurstabiliteit moet de uitgang afgesloten worden met een impedantie die groter is dan 650kΩ. Daarom is er een opamp als uitgangsbuffer opgenomen. Met de buffertrap worden ook meteen de offset en de volle schaal ingesteld. Met P2 wordt de offset geregeld, met P1 de volle schaal. De weerstandswaarden zijn zo gekozen dat de volleschaalspanning van 5,120 V goed af te regelen is. Er is voor een CA3140 opamp als buffer gekozen omdat die goed met een enkele +8 V voeding werkt. Daarbij kan de uitgang zich goed tussen de uitersten van 0 V en +5,10 V bewegen. Dit IC werkt na het afregelen van de offset voldoende nauwkeurig om het met een 8-bits systeem toe te passen. Om met deze kaart te werken moet de centrale voeding dus +8 V of meer afgeven. Als er



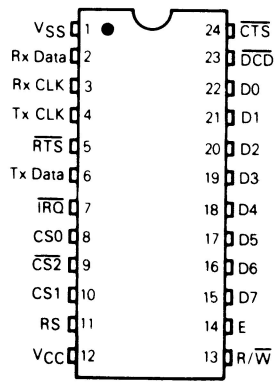
Figuur 5-10. ZN426 D/A-omzetter

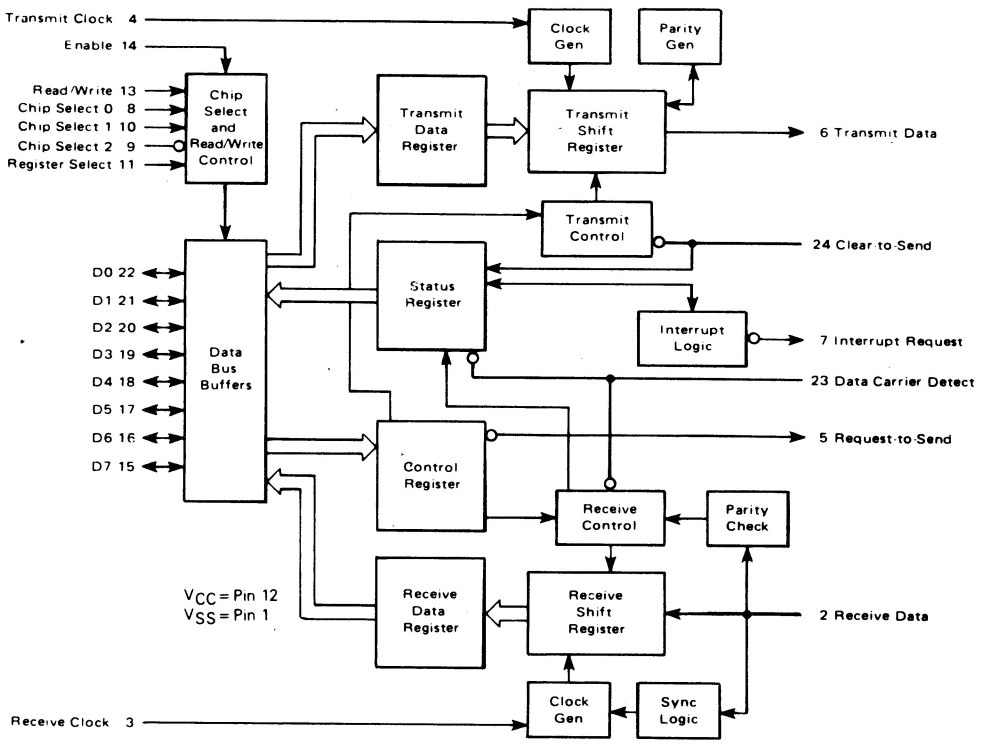
teveel storing op deze voedingslijn staat moet een aparte voeding gebruikt worden. Het zal al veel helpen als een aparte +8 V-regelaar vanaf de centrale voedingstrafo gebruikt wordt.

Het afregelen
Zoals eerder gezegd wordt dat met P1 en P2 gedaan. Dit gaat in twee stappen, die herhaald moeten worden.
1) Zet alle bits op 0, dus uitgangswaarde 0_d. Met P2 wordt de uitgangsspanning op 0,000 V afgeregeld.
2) Zet alle bits op 1, dus uitgangswaarde 255d. Met P1 wordt de volle-schaalspanning op 5,100 V afgeregeld. Dat is immers 5,120 V – 1LSB van 0,02 V.
3) Herhaal stap 1 en 2.

5.16 ACIA 6850 Seriële interface

Een seriële interface wordt gebruikt voor kommunikatie met andere computersystemen of randapparatuur. Over het algemeen is daar een behoorlijk uitgebreid programma bij nodig. Voor de meeste computers bestaat een standaard seriële interface. Bij die interface zijn dan vaak één of meerdere programma's beschikbaar voor kommunikatie. Het is geen eenvoudige opgave om zelf zo'n programma te schrijven. Voor toepassingen waarbij bestaande software en seriële interfaces kunnen worden gebruikt zal zelfbouw niet lonen. Hier wordt een seriële interface





Figuur 5-20

beschreven omdat het een belangrijke standaard interface is, die niet onbesproken mag blijven. Op basis van deze interface kan ook een MIDI-interface worden gebouwd. Daarvoor moeten oscillator en uitgangstrap op de beschreven interface worden aangepast.
De seriële interface is opgebouwd rondom het ACIA6850 serieel interface-IC uit de MC6800 serie. Dit IC heeft de volgende eigenschappen:
* Asynchrone kommunikatie interface met onafhankelijk zend- en ontvangkanaal.
* 7- of 8-bits data
* Even, oneven of geen pariteit.
* Een of twee stop-bits.
* Pariteit, overrun en framing foutdetektie.
* Snelheid tot 1 megabit per sekonde.
* Dubbele buffering.
* RTS, CTS en DCD handshakelijnen.

5.16.1 Wat doet een seriële interface

Bij parallel-naar-serieel omzetting worden de databits, die met zeven of acht tegelijk parallel worden ingelezen, en aan de uitgang één voor één weer uitgeschoven. Op die manier kan een tweedraads verbinding voor 8-bits (of meer) kommunikatie worden gebruikt. Het aantal bits dat per sekonde verstuurd wordt heet de baudrate. Als een parallel byte is aangeboden, zal de omzetting bij de eerst volgende klokdoorgang beginnen. Daarna worden de bits één voor één verzonden. Pas als ze allemaal verzonden zijn, kan er een nieuw byte geschreven worden. In principe zou de computer zelf ook direkt seriële data uit kunnen voeren. De CPU is er snel genoeg voor om met de juiste baudrate een bit van een parallel invoer-/uitvoerpoort hoog en laag te maken. Zo gebeurt het bijvoorbeeld in Interface One voor de Sinclair Spectrum. Deze primitieve oplossing bevalt niet omdat de computer ondertussen niets anders kan doen. Het toetsenbord en het beeldscherm kunnen niet ook nog eens worden bediend. Nog belangrijker is dat er nog een hele huishouding rondom de dataoverdracht bestaat. Die bestaat uit een aantal handshakelijnen en een aantal extra bits die per karakter meegezonden worden. Daar zorgt het seriële interface-IC ook voor. Er worden niet simpelweg alleen maar de acht databits verzonden. Maar er worden nog een aantal bits voor 'huishoudelijke taken' aan toegevoegd. De seriële data- overdracht kan op veel manieren praktisch uitgevoerd worden, als er geen afspraken waren zou niemand samen kunnen werken.

- RS232-norm.

Voor asynchrone seriële data-overdracht is de RS232-norm veruit de bekendste. Dit is een norm waarin allerlei aspekten van een seriële kommunikatieverbinding worden vastgelegd. Om te beginnen is er een aanbeveling voor de konnektor en de benaming en het gebruik van de diverse draden. Een echt volledige RS232-interface beschikt over een groot aantal handshakelijnen, deze zullen echter zelden allemaal aanwezig zijn. Minimaal beschikt een interface over een ingaande en een uitgaande datalijn. Vaak komen daar nog één of twee binnenkomende en één uitgaande handshakelijn bij.
De spanningsniveaus op de lijnen zijn ook in de norm vastgelegd. Een spanning tussen +3 V en +12 V is een logische 0, een spanning tussen −3 V en −12 V is een logische 1. Dit kan aanleiding geven tot een aardige spraakverwarring omdat er ook nog een inverter tussen het periferie IC en de lijnen zit.De datalijnen zijn in rust logisch 1, dus tussen −3 V en |-12 V. De handshakelijnen zijn tijdens dataoverdracht logisch 0, dus een spanning tussen +3 V en +12 V.
De baudrates moeten gekozen worden uit de verdubbelingsrij tussen 75 en 19200 baud; 75, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 baud. Een snelheid van 50 baud is ook nog toegestaan. Elk byte wordt voorafgegaan door een startbit, daarmee wordt de overdracht gesynchroniseerd.
Er kunnen één, anderhalf of twee stopbits worden gebruikt. Over het algemeen wordt er maar één stopbit gebruikt. Een langer stopteken is jammer van de tijd, het werd vroeger gebruikt om langzame randapparaten de tijd te geven.
Tussen het laatste databit en het stopbit kan nog een pariteitsbit geplaatst worden. Hiermee kan een eenvoudige foutdetektie uitgevoerd worden. Het pariteitsbit wordt gebruikt om het aantal hoge bits altijd aan te vullen tot een even of een oneven getal. Dit is dus de keuze tussen oneven (odd) en even pariteit. Als de pariteit niet klopt, weet het programma dat de data niet goed is. Afhankelijk van de toepassing en het gebruikte programma kan dan aktie worden ondernomen. Voor

data-overdracht bestaan ook nog andere programmamatige foutbeschermings-methodes (protokollen) zoals XModem, Kermit en allerlei afgeleiden en verbeteringen daarvan. Pariteit wordt niet altijd gebruikt, als er veel informatie snel verstuurd moet worden, maakt dit bit de tijdsduur van de overdracht merkbaar langer. Bijvoorbeeld bij 8 bits data, één start- en één stopbit, levert een extra pariteitsbit een 10 % langere transmissietijd op.

- Data-overdracht

In rust is de lijn logisch 1, het startbit is altijd een logische nul. Dus het begin van de data-overdracht wordt gekenmerkt door een flank op de datalijnen. De seriële interface zal vanaf de stijgende flank van de spanning op de ontvangstlijn een aantal klokcyclussen tellen en het databit in het midden inlezen. Daarom moet de klokfrekwentie bij asynchrone overdracht altijd een aantal malen hoger zijn dan de baudrate. Als de klokfrekwentie gelijk is aan de datasnelheid, moet de data synchroon met de klok verzonden worden. Bij een klokfrekwentie die 16 keer zo hoog is als de baudrate, weet de interface dat het eerste databit acht klokcyclussen na de stijgende flank van het startbit ingelezen moet worden. De interface blijft nu om de 16 klokcyclussen de toestand van de lijn inlezen. Doordat er een mode opgegeven is, weet het interface hoeveel bits bij één karakter horen. Het verzonden karakter wordt altijd afgesloten met een stopbit. Daarbij is de lijn altijd logisch 1, dit is gelijk aan de lijn in rust en hiermee is de cirkel rond. De overgang tussen het (laatste) stopbit en het startbit zorgt dus altijd voor een synchronisatie flank. Gelijk aan de overgang tussen rust en start.

Het seriële interface-IC kan een aantal fouten in de overdracht signaleren. Framing Error als de synchronisatie mis gaat. Receiver overrun, als er data is binnengekomen die niet is uitgelezen. Parity error als een pariteitsfout is gekonstateerd.

Als een dergelijke fout is gekonstateerd, wordt het bijbehorende bit in het statusregister op 1 gezet.

- Handshakelijnen

De ACIA 6850 beschikt over drie handshakelijnen. Dit is genoeg voor vrijwel alle toepassingen van een seriële interface.

RTS, de request to send uitgang kan gezien worden als een één-bits parallel uitvoerpoort. Hiermee kan het programma een signaal naar de andere kant doorgeven. De RTS-lijn wordt bestuurd met het kontrolewoord. Deze uitgang kan ook als DTR worden gebruikt.

CTS, de clear to send ingang kontroleert het zenderdeel van de ACIA6850. Als deze lijn aktief is, geeft het Transmit Data Register Empty bit in het statusregister aan dat er niet gezonden kan worden.

DCD, de data carrier detect ingang bestuurt de ontvanger in de ACIA6850. Als de DCD-ingang op het IC hoog is, zal de ontvanger geen data opnemen en geïnitialiseerd worden. Een stijgende flank op de ingang van het IC zal een interrupt naar de computer veroorzaken als dat door het kontrolewoord zo is ingesteld. De DCD-ingang funktioneert niet als de ontvangerklok niet aanwezig is.

Ongebruikte handshakelijnen van de verbinding kunnen via een weerstand van 3k3 met pin 2 van de MAX232 worden verbonden. Het lijnniveau is dan ongeveer +9 V.

5.16.2 Werken met de 6850

De 6850 beschikt over vier interne registers. Deze zijn op twee adressen geplaatst, een datalees- en een dataschrijfregister op adres 1. En een kontrole- (schrijf) en een status- (lees) register op adres 0. Om met het IC te werken moet eerst via het kontroleregister een werkwijze worden opgegeven. Met name de zogenaamde seriële parameters, baudrate, data, stop en pariteitsbits. Tijdens de datakommunikatie moet voortdurend naar het statusregister worden gekeken. Daarin kan het programma zien of er een byte binnen is gekomen, of er al weer een volgend byte verzonden mag worden, of er fouten zijn gekonstateerd, enz.. Het lezen van de status is een vast onderdeel van de programmaroutines.

Als er bijvoorbeeld nieuwe data door de CPU in het zendregister wordt gezet terwijl de vorige data nog in behandeling is, wordt er een onvoorspelbaar karakter verzonden. Via het kontroleregister moet de uitgaande –RTS-handshake ook bestuurd worden.

5.16.2.1 Het mode-woord

De bits van het mode-woord zijn in een paar groepen op te delen.

* Masterreset / Klokdeler
* Parameters
* Interrupt en RTS-besturing

A) Bit 0 en 1. De klokfrekwentie en masterreset.
Als er spanning op het IC wordt gezet zal de interne logica zorgen dat er niets gebeurd tot er een masterreset is gegeven. Masterreset is een speciale funktie van het mode-woord. Als er wordt begonnen om met de 6850 te werken, moet altijd eerst een masterreset worden gegeven door een byte naar het kontroleregister te schrijven met bit 0 en 1 hoog. De andere mode-woordbits kunnen tegelijk met de masterreset worden geprogrammeerd, zodat de toestand van de RTS-uitgang ook bij een masterreset via bit 5 en 6 onder kontrole is. Normaliter zal na de masterreset de eigenlijke mode in het kontroleregister worden geschreven. Daarbij moet met bit 0 en 1 de deelfaktor van de klok ingesteld worden. Bij deze kaart is uitgegaan van een deelfaktor 16. Deelfaktor 1 kan alleen gebruikt worden als de klok synchroon met de data loopt.

Dec.	Bit 1	Bit 0	Mode
0	0	0	:1
1	0	1	:16
2	1	0	:64
3	1	1	:Master reset

B) Bit 2, 3 en 4. Hiermee worden de parameters van de seriële data-overdracht ingesteld.

Dec.	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Databits	Pariteit	Stopbits
0	1	0	0	7	even	2
4	1	0	1	7	oneven	2
8	1	1	0	7	even	1
12	1	1	1	7	oneven	1
16	1	0	0	8	geen	2
20	1	0	1	8	geen	1
24	1	1	0	8	even	1
28	1	1	1	8	oneven	1

C) Bit 5 en 6. Deze twee bits worden de zender-kontrolebits genoemd. Hiermee kunnen een paar dingen ingesteld worden. De toestand van de –RTS uitgaande handshakelijn kan bestuurd worden. Er kan bepaald worden dat er een interrupt naar de CPU gaat als de zendbuffer leeg is (TDRE is hoog). Er kan bepaald worden dat de uitgang voortdurend een break laat zien.

	Bit 6	Bit 5	Mode
0	0	0	–RTS=laag, Zender interrupt werkt niet.
32	0	1	–RTS=laag, Zender interrupt werkt.
64	1	0	–RTS=hoog, Zender interrupt werkt niet
96	1	1	–RTS=laag, Zender interrupt werkt, BREAK niveau op seriële data uitgang.

D) Bit 7. Receive Interrupt Enable. Als dit bit hoog is gemaakt, zullen de volgende gebeurtenissen een interrupt tot gevolg hebben: Het ontvangregister is vol (set RDRF), overrun of een stijgende flank op de –DCD-handshakeingang van het IC.

5.16.2.2 Het statusregister
Dit is tijdens het werken met de 6850 voortdurend belangrijk. Alle 8 bits van het statuswoord hebben een eigen funktie, het zijn allemaal ''vlaggen'' die aangeven of een bepaalde konditie waar is. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen de data-, handshake-, fout- en interrupt-vlaggen. Door het statuswoord in te lezen en te zien welke bits hoog en laag zijn, kan het programma de toestand van seriële verbinding te weten komen.

Betekenis van de bits in het status register:

– DATA-vlaggen
Bit 0, RDRF, Receive Data Register Full. Dit bit wordt hoog nadat dat er een byte in het ontvangregister is gezet. Dit bit wordt gereset door de data te lezen. Als dit bit laag is, is de data in het dataregister al eerder gelezen. Als DCD hoog is, zal RDRF ook laag zijn. Dit bit wordt ook gereset bij een masterreset opdracht.

Bit 1, TDRE, Transmit Data Register Empty. Dit bit is hoog als er nieuwe data naar de 6850 geschreven kan worden. Als dit bit laag is, geeft dat aan dat het byte, dat in het dataregister is gezet, nog niet overgebracht is naar het zendregister.

– HANDSHAKE-vlaggen
Bit 2, DCD, Data Carrier Detect. Dit bit

wordt hoog als de DCD ingang hoog is geworden. Hiermee kan een modem aangeven dat de draaggolf (carrier) niet meer aanwezig is. Als dit bit hoog wordt, kan de interruptuitgang aktief worden. Dit bit blijft hoog, ook als de DCD-lijn weer laag wordt. Het wordt gereset door eerst het statusregister en dan het dataregister te lezen. Als de DCD-ingang hoog was tijdens het lezen van de status en de data zal de interruptuitgang gereset worden, maar het bit blijft dan de DCD-ingang volgen. Masterreset zet dit bit ook laag.
Bit 3, CTS, Clear To Send. Dit bit geeft de toestand van de CTS-ingang aan. Als de CTS-ingang van het IC laag is, is het bit laag. Er kan dan data verzonden worden. Als de CTS-ingang hoog is, zal het TDRE-bit niet geset kunnen worden. Er zal dan geen data meer verzonden worden. Masterreset heeft geen invloed op dit bit.

– FOUT-vlaggen
Bit 4, Framing error, geeft aan dat het eerste stopbit niet op het verwachte moment is ontvangen. Deze vlag geeft een transmissiefout aan, zoals foute synchronisatie. Als er een break-signaal op de Rxd-lijn staat, is dit bit steeds aktief. Dit bit wordt zonodig automatisch geset en gereset als er een nieuw karakter beschikbaar staat. Het geeft dus altijd aan of de data die op dat moment uit het dataregister kan worden gelezen goed is.
Bit 5, Receiver overrun, geeft aan dat er alweer nieuwe data binnen is gekomen terwijl de oude nog niet gelezen was. Dus als er ingangsdata gemist is, is overrun aktief. Overrun wordt aktief midden op het laatste bit van het tweede karakter dat binnenkomt na de laatste leesoperatie. Het overrunbit wordt pas aktief als het laatste (geldige) byte dat voor de overrun is binnengekomen, uit de databuffer gelezen is. Tijdens de overrun-situatie zal de synchronisatie met de binnenkomende data door blijven gaan. Overrun moet via een masterreset of het lezen van data uit de databuffer gereset worden.
Bit 6, Parity error, geeft aan of er een pariteitsfout is waargenomen bij het byte dat op dat moment in de databuffer beschikbaar is.

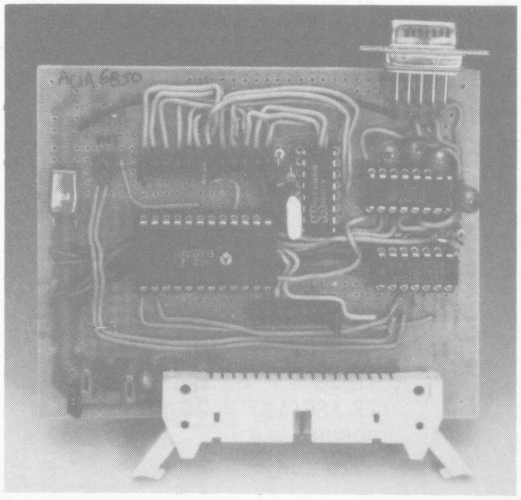


Foto 14. Prototype van de seriële interface-kaart

– INTERRUPT vlag
Bit 7, IRQ, interrupt request. Dit bit geeft de toestand van de –IRQ-uitgang aan. Als de –IRQ-uitgang laag is, zal dit bit hoog zijn. Dit bit wordt gereset door het lezen of schrijven van data.

5.16.3 Programmeren

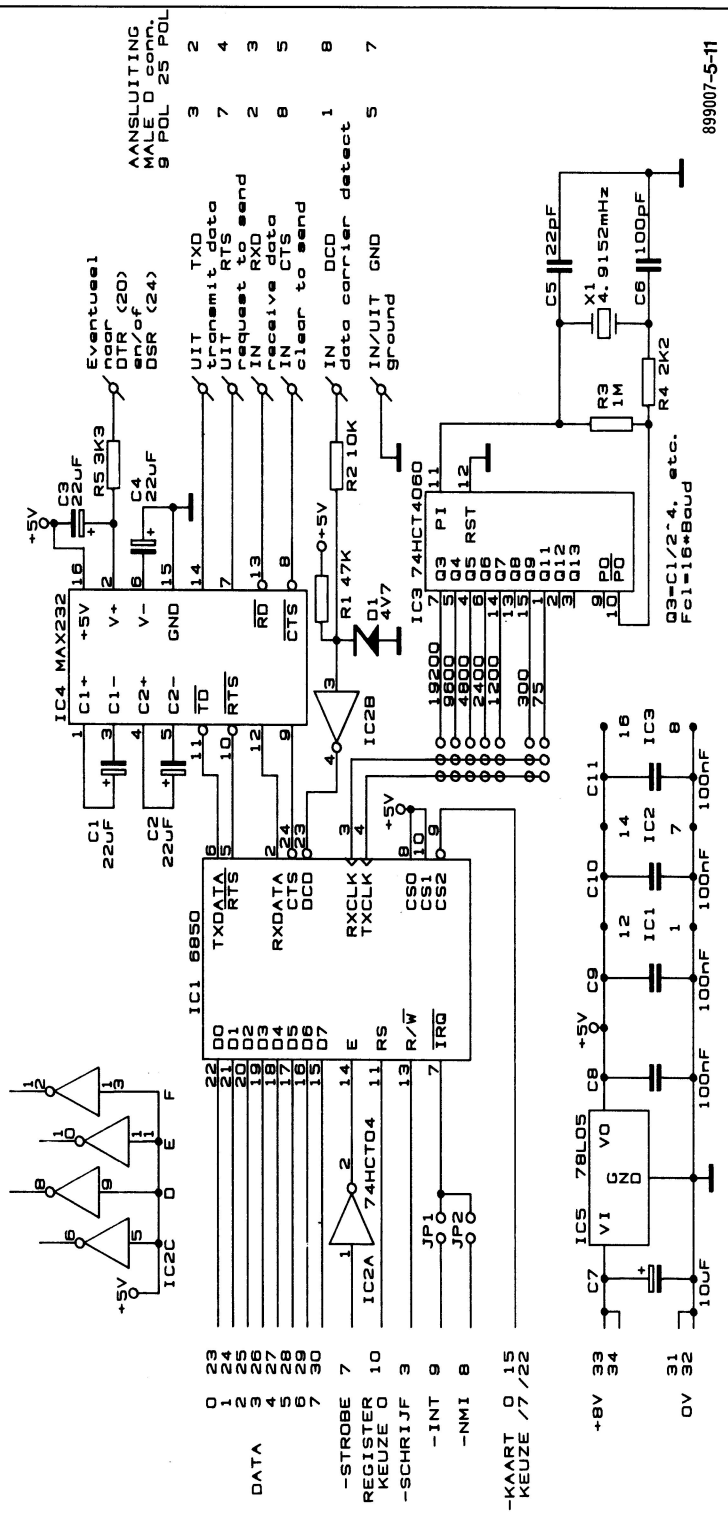
Het programmavoorbeeld laat een minimaal terminalprogramma zien. De uitgaande handshakelijn wordt niet bestuurd. Het programma is in QuickBasic voor MS-DOS-machines geschreven.

```
init:
CLS
PRINT ''Eenvoudige terminal demonstratie          V1.0''
PRINT ''8 databits, geen pariteit, 1 stop bit''
INPUT ''Kaart nummer 0..7          >7 = einde programma  '', kaart
IF kaart > 7 THEN END
INPUT ''DCD melding                                j ? '', d$
d = 0
IF d$ = ''J'' OR d$ = ''j'' THEN d = 1
krt = 768 + 1024 * kaart
```

```
OUT krt, 3
OUT krt, 21
CLS
PRINT ''Kontrol X  =  verlaat terminal''
PRINT
GOSUB lus
GOTO init

lus:
i$ = INKEY$
a = INP(krt)
GOSUB test
GOSUB ontvang
IF i$ = '''' THEN GOTO lus
IF ASC(i$) = 24 THEN RETURN
GOSUB zend
GOTO lus

ontvang:
IF (a AND 1) = 0 THEN RETURN
B = INP(krt + 1)
PRINT CHR$(B);
RETURN

zend:
IF (a AND 2) = 0 THEN RETURN
OUT (krt + 1), ASC(i$)
PRINT i$;
RETURN

test:
IF (a AND 4) = 4 AND d = 1 THEN PRINT ''  DCD ''; : GOSUB ontvang
IF (a AND 8) = 8 THEN PRINT ''  CTS '';
IF (a AND 16) = 16 THEN PRINT ''  Framing fout  '';
IF (a AND 32) = 32 THEN PRINT ''  Ontvanger overlopen  '';
IF (a AND 64) = 64 THEN PRINT ''  Pariteitsfout  '';
IF (a AND 128) = 128 THEN PRINT ''  Interrupt uitgang aktief  '';
RETURN
```

5.16.4 De kaart

Buiten de 6850 en de aansluiting op de mikrobus zijn er nog twee belangrijke blokken in het schema. De buffering naar de seriële datalijn en de klokgenerator. De buffering wordt in dit schema verzorgd met het IC MAX232 . Dit IC is zeer geschikt voor gebruik met het Mikrosysteem. Ondanks één enkele +5 V voeding kan toch met echte RS232-lijnen worden gewerkt. De uitgangsspanningen zijn ongeveer ±9 V. Dit wordt bereikt met een spanningsvermenigvuldiger, daarvoor wordt een interne oscillator gebruikt. Om die spanningsomzetting te laten werken moeten vier elko's van ongeveer 22 μF aan het IC toegevoegd worden. De schakeldrempel van de MAX232 maakt het mogelijk om ook TTL signalen aan de ingang van de RS232 kant aan te bieden. Hoog is Vin>2,4 V en laag is Vin < 0,8 V. De hysteresis is ±0,5 V. De maximale ingangsspanning is +30 V of −30 V. De ongebruikte ingangen hoeven niet afgesloten te worden, want er is intern een pull-up weerstand van 400 kΩ aanwezig. Aangezien er maar vier kanalen beschikbaar zijn is voor de minst belangrijke, DCD, een simpele niveaubuffering gemaakt met een paar weerstanden, een zenerdiode en een inverter. De Maxim MAX690 en Linear Technology LT1133 zijn grote broers van de MAX232. Ze beschikken over drie RS232-uitgangen en vijf



Figuur 5-11. Seriële interface ACIA6850

RS232-ingangen. Daarmee kan een volledig IBM kompatibele RS232-interface gebufferd worden. De buffering kan natuurlijk op allerlei manieren uitgevoerd worden, dat zal afhangen van de aan te sluiten apparatuur. Voor standaard seriële data transmissie is het verstandig de RS232-norm te volgen. TTL-IC's kunnen uiteraard rechtstreeks op de 6850 worden aangesloten. Zo kan er ook een MIDI-uitgangstrap aangesloten worden. De MIDI-standaard is ook goed bruikbaar voor andere dan muzikale seriële verbindingen, aardlussen worden voorkomen en zender en ontvanger zijn volledig geïsoleerd.
De klokgenerator is met een HCT4060 opgebouwd. Dit is een prima IC voor oscillatoren in het algemeen. Gebruik geen CD4060 want die heeft een te lage maximale klokfrekwentie. Met dit IC kan op eenvoudige wijze een oscillator opgebouwd worden. Een kristal en twee kondensatoren zijn voldoende. In het IC zitten ook een aantal deeltrappen. De deelfaktor is gelijk aan twee tot de macht van het Q-nummer plus één. Dat komt doordat de teller telkens bij de dalende flank van de klok één tel verder gaat. Bijvoorbeeld uitgang Q3 (pin7) deelt door $2^{(3+1)}=16$, $Q11=2^{(11+1)}=4096$, etc. Het schema en de waarden zijn bedoeld voor gebruik van de 6850 in een mode waarbij de klokfrekwentie 16 keer hoger is dan de gewenste baudrate. Als de zend- en ontvangklok elk met een uitgang van een PIT 8253-teller worden verbonden, ontstaat een seriële interface met programmeerbare baudrates. Daarvoor zijn twee externe aansluitingen aangegeven. De pennummers die voor de seriële konnektor in het schema zijn aangegeven, zijn standaard. De DB-25 is de RS232-standaard, zoals ook op de IBM-PC aanwezig is. De 9-polige D-konnektor is net als bij de IBM-AT ingedeeld.

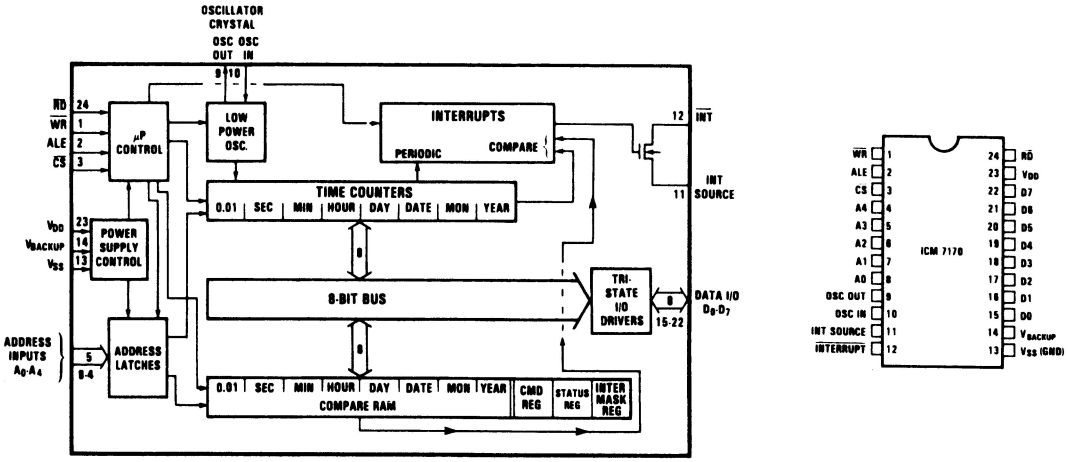
Eventueel kan de interruptuitgang, net als bij de PIA6821, met een pull-up weerstand en een overgebleven inverter de PIC8259 interrupt controller rechtstreeks aansturen. Zie daarvoor de bespreking van de PIA6821.
Om de interface te testen kunnen Txd en Rxd met elkaar verbonden worden. Met de instrukties uit het voorbeeldprogramma kan dan eerst een byte in het zendregister worden gezet. Datzelfde byte moet daarna uit het leesregister te lezen zijn. Om de handshake te testen kan RTS met CTS verbonden worden. RTS staat onder programmakontrole via het kontroleregister, het effekt op CTS is in het statusregister te lezen.

5.17 ICM 7170 Vierentwintig-uurs klok (Real Time Clock)

Deze kaart is voor meet- en regelsystemen van groot belang. In de eerste plaats zijn de juiste datum en tijd steeds gemakkelijk opvraagbaar. Zo kunnen bestanden, metingen of andere gebeurtenissen snel van een tijd- en/of datum-aanduiding voorzien worden. Een andere belangrijke funktie is de wekker die óók werkt als de computer uit staat. Hiermee kan bijvoorbeeld de computer op eén door zichzelf geprogrammeerd tijdstip ingeschakeld worden. Maar er kunnen ook metingen of programmadelen op een bepaald tijdstip of met een programmeerbare interval mee worden gestart. Dankzij het lage stroomverbruik in stand-by-toestand kan het IC met een batterij of één akkulading gedurende lange tijd de juiste tijd bijhouden. De overschakeling tussen normale en batterijvoeding wordt door een circuit in het IC geregeld. Bij batterijvoeding is het IC niet voor de computer toegankelijk; alleen de interne oscillator, de delers en de wekker funktioneren.
Naast het belang van de real time clock is de bespreking van de adresseringswijzen van deze kaart op zich al interessant voor het werken met invoer-/uitvoersystemen zoals het Mikrosysteem.

5.17.1 De eigenschappen van de ICM 7170

*De datum en tijd worden in buffers geschreven en kunnen op elk gewenst moment stabiel ingelezen worden.
*De datum en tijd zijn in binaire vorm aanwezig en hoeven dus niet omgerekend te worden.
*De tijd is van 1/100 s tot 99 jaar af te lezen.
*Er kan met een 12- of een 24-uurs klok worden gewerkt. *Volledige kalenderfunktie met schrikkeljaar-korrektie.
*Automatische omschakeling naar batterijvoeding.
*Wekkerfunktie ook bij batterijvoeding.
*Interrupt via de wekker of 6 andere periodieke signalen.
*Ruststroom typisch 2 μA bij +3 V en een 32 kHz-kristal.



Figuur 5-X21a en b. Interne opbouw en aansluitgegevens van de ICM7170

Het IC bestaat uit een spanningsstabilisator, een stabiele 'pierce' kristaloscillator, een aantal frekwentiedelers (tellers) en de wekker-/interruptfunktie. Via de in het kontrolewoord op te geven deelfaktor wordt de kristalfrekwentie tot 4000 Hz gedeeld; dit wordt dan verder gedeeld tot 100 Hz, de klok van de eerste teller. Deze telt dus de honderdste sekonden. Daarna volgen nog zeven delers, met elk een eigen telcyclus. De urenteller kan tot 12 of 24 tellen; dit wordt met het kontrolewoord bepaald. Om de tellers in te kunnen stellen of te kunnen lezen is voor elke teller een apart register aanwezig. Er is geen 1/10 s-dataregister, maar wèl een periodieke interrupt-mogelijkheid. Daarnaast zijn er acht wekker-vergelijk-registers. Het IC kan zo geprogrammeerd worden dat de interrupt-uitgang aktief wordt als de echte tijd gelijk is aan de tijd in een van de acht vergelijkingsregisters. Het is ook mogelijk om periòdieke uitgangssignalen op te wekken.

5.17.2 Werken met de ICM7170

Het werken met het IC betreft het opstarten, het uitlezen van de tijd, het instellen van de wekker en de periodieke interrupts en het reageren op een interrupt. Al deze aktiviteiten bestaan uit het schrijven van data in, of het lezen van data uit de registers.
Om met het IC na een koude start te werken, dus als het IC totaal spanningsloos is geweest, moet eerst de tijd ingesteld worden en daarna moeten de tellers gestart worden. Dat starten gebeurt door het schrijven van een kontrolewoord, waarbij tegelijkertijd meerdere zaken worden ingesteld. De datum en tijd zijn daarna op elk gewenst moment uit te lezen. Om de interrupt-uitgang te laten funktioneren, moet een aantal kommandowoorden naar het IC geschreven worden.
Om het werken met het IC duidelijk te maken, volgt nu een bespreking van de interne registers, daarna volgt nog een samenvatting onder de kop: het programma.

5.17.2.1 De registers

Het IC beschikt over 18 interne registers, onderverdeeld in drie groepen:
* acht tijd-tellerregisters, die tijd en datum in leesbaar formaat bevatten;
* acht registers voor de wekkertijd;
* een kontroleregister en een interrupt- register. Het interrupt-register bestaat eigenlijk uit twee registers op hetzelfde adres: één om het interrupt-masker in te schrijven en één om de interrupt-status uit te lezen.

Al deze registers zijn onafhankelijk te bereiken. Hoe dat in zijn werk gaat is een apart onderwerp, omdat uit verschillende adresseringswijzen gekozen kan worden. Dat komt bij de bespreking van het schema aan de orde.

De registers en hun funktie:

Adres	Funktie	Waarde	
	TELLER		
0	1/100 s	0-99	
1	uren	0-23 (24u-mode); 1-12 (12u-mode) 12u-mode: bit 7 = 0=voormiddag, 1=namiddag	
2	minuten	0-59	
3	sekonden	0-59	
4	maanden	1-12	
5	dag v/d maand	1-31	
6	jaren	0-99	
7	dag v/d week	0-6	
	WEKKER-RAM		Zet wekkerbit:
8	1/100 s	0-99	7
9	uren	0-23/1-12 bit 7 =vm/nm	6
10	minuten	0-59	7
11	sekonden	0-59	7
12	maanden	1-12	7
13	dag v/d maand	1-31	7
14	jaar	0-99	7
15	dag v/d week	0-6	7
	KONTROLE/STATUS		
16	lezen: interrupt-status; schrijven: interrupt-masker		
17	kontroleregister		

- Kontroleregister

Het kontroleregister wordt bereikt door te schrijven naar adres 17d (11h). Na een koude start (IC was spanningsloos) moet via dit register een aantal zaken ingesteld worden. Er moet onder andere de kristalfrekwentie opgegeven worden en de tellers gestart worden. Maar voordat de tellers gestart worden, moet de juiste tijd opgegeven zijn. Verder moet het kontrolewoord worden gebruikt om de interrupt-funktie in zijn geheel aan of uit te zetten en om tijdens het funktioneren de tijd opnieuw in te stellen (bijvoorbeeld omschakeling zomer-/wintertijd).

De funktie van de bits van het kontroleregister:

Bit 0 en 1 regelen de deelfaktor voor de eerste teller.

Dec	BIT1	BIT0	kristalfrekwentie
0	0	0	32,768 kHz
1	0	1	1,048576 MHz
2	1	0	2,097152 MHz
3	1	1	4,194304 MHz

COMMAND REGISTER ADDRESS (10001b, 11h) WRITE-ONLY							
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
n/a	n/a	Test	Int.	Run	12/24	Freq	Freq

D1	D0	Crystal Frequency	D2	24/12 Hour Format	D3	Run/Stop	D4	Interrupt Enable	D5	Test Bit
0	0	32.768kHz	0	12 hour mode	0	Stop	0	Interrupt disabled	0	Normal Mode
0	1	1.048576MHz	1	24 hour mode	1	Run	1	Interrupt enable	1	Test Mode
1	0	2.097152MHz								
1	1	4.194304MHz								

Figuur 5-X22. De funkties van het kontroleregister in tabelvorm.

Overige bits:

Dec	BIT	invloed	
4	2	0= 12 uurs werkwijze;	1= 24 uurs werkwijze
8	3	0= teller stopt;	1= teller loopt
16	4	0= geen interrupts;	1= interrupts werken
32	5	0= normale werkwijze;	1= testen
64	6	niet gebruikt	
128	7	niet gebruikt	

Nadere toelichting:

Bit 0 en 1. Via het kontroleregister moet opgegeven worden welke van de vier mogelijke oscillator-kristalfrekwenties gebruikt wordt. De keuze daarvan wordt bij het schema besproken. Verder spreekt de instelling van deze twee bits voor zich.

Bit 2. Met dit bit wordt bepaald of de urenteller tot 12 of tot 24 doorloopt. Bij 12-uurs werkwijze wordt met bit 7 in het uurregister aangegeven of het voor of na de middag is (AM of PM).

Bit 3. Met dit bit worden de tellers aan- of uitgezet. De tellers moeten door het schrijven van een kontrolewoord met bit 3 hoog gestart zijn, voordat ze lopen en de tijd bij houden.

Voor het schrijven van de juiste tijd moeten de tellers eerst stil gezet worden. Daarna moeten de datum en tijd in de registers worden geschreven. Op het moment dat het de tijd is die in de registers staat moet een kontrolewoord met bit 3 hoog worden geschreven. Zo worden de tellers op het juiste moment gestart. Dus in de registers moet een tijd gezet worden die nog moet komen, iets ''later'' dus. Anders kan niet op het goede moment gestart worden.

Bit 4. Met het interrupt-bit worden de interrupts die met het interrupt-masker en de wekker-registers zijn ingesteld, toegestaan of geblokkeerd. Als dit bit laag is werken de interrupt-funkties niet.
Bit 5. Als het testbit hoog is wordt de oscillator-uitgang (OSCO) met de 100 Hz-teller verbonden. De tellers lopen dan dus veel sneller. Bij een 32 kHz-kristal dus ongeveer 327 keer zo snel. Er mag een pulsgenerator in plaats van een kristal op OSCO worden aangesloten. De top-topspanning daarvan mag niet groter zijn dan de geregelde spanning van de oscillator. De massa van dit signaal moet met de normale massa van de schakeling worden verbonden.

Bit 6 en 7 worden niet gebruikt.

- Teller-registers

De acht teller-registers zitten op de adressen 0d (00h)...7d (07h). De datumregisters hebben het Amerikaanse formaat: maand-dag-jaar.
Bij het op tijd zetten worden de juiste tijd en datum in deze registers geschreven. Bij het lezen worden de tijd en datum uit deze registers gehaald. Er kan in willekeurige volgorde van de registers gelezen worden of er naar toe geschreven worden. Om de juiste tijd in te stellen moet de stop/start-tellerfunktie van het kontrolewoord worden gebruikt. Om de teller-registers uit te lezen moet eerst het 1/100-s-register gelezen worden. De inhoud van de registers wordt dan bevroren en loopt niet meer met de tellers mee, zodat een juiste uitlezing kan worden verkregen. Uiteraard lopen de tellers ondertussen door. Als het 1/100-s-register weer wordt gelezen gaan de registers weer de juiste datum en tijd weergeven. Het lezen van het 1/100-s-register funktioneert dus als aan-/uitschakelaar voor het volgen van de tellers door de registers.

- Wekker-registers

De acht wekker-registers zitten op de adressen 8d (08h)...15d (0Fh). Deze adressen volgen dus op die van de tijdregisters, de volgorde is gelijk.
Voor de wekkerfunktie moet in de eerste plaats de stand van de teller, die alarm moet veroorzaken, in deze registers geschreven worden. Met bit 7 van elk byte wordt aangegeven of de bijbehorende teller bij de vergelijking moet worden betrokken, voor de uren is het bit 6. Als dat bit een 1 is zal deze teller niet betrokken worden bij de vergelijking met de echte tijdregisters en het genereren van een interrupt. Zo kan er gekozen worden of het alarm bijvoorbeeld elke dag om 7.00 uur af-

Address						Function	DATA								Value
A4	A3	A2	A1	A0	HEX		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
0	0	0	0	0	00	Counter-1/100 seconds	–	.	.	.	.	.	.	.	0-99
0	0	0	0	1	01	Counter-hours	–	–	–	.	.	.	.	.	0-23
						12 Hour Mode	*	–	–	–	.	.	.	.	1-12
0	0	0	1	0	02	Counter-minutes	–	–	.	.	.	.	.	.	0-59
0	0	0	1	1	03	Counter-seconds	–	–	.	.	.	.	.	.	0-59
0	0	1	0	0	04	Counter-month	–	–	–	–	.	.	.	.	1-12
0	0	1	0	1	05	Counter-date	–	–	–	.	.	.	.	.	1-31
0	0	1	1	0	06	Counter-year	–	.	.	.	.	.	.	.	0-99
0	0	1	1	1	07	Counter-day of week	–	–	–	–	–	.	.	.	0-6

NOTES: Address 10010 to 11111 (12h to 1Fh) are unused.
'+' Unused bit for Interrupt Mask Register, MSB bit for Interrupt Status Register.
'–' Indicates unused bits.
'*' AM/PM indicator bit in 12 hour format. Logic "0" indicates AM, logic "1" indicates PM.
'M' Alarm compare for particular counter will be enabled if bit is set to logic "0".

Figuur 5-23a. De teller-registers

gaat, of elke vrijdag om 17.15 uur, of op één bepaalde dag op één bepaalde tijd, enz.. De wekker-interrupt werkt pas als bit 0 in het interruptmasker-register voor de wekkerfunktie (alarm) hoog is. En van het kontrolewoord moet bit 4 natuurlijk hoog zijn, omdat anders de interrupts helemaal niet werken.
Een belangrijke eigenschap van het IC is dat de wekker ook werkt als de batterijvoeding (backup) is ingeschakeld.

- Interruptmasker-register

Hiervoor moet naar adres 16 geschreven worden. Met dit byte kan worden ingesteld welke periodieke interrupts moeten worden gegeven. Het interrupt-bit in het kontrolewoord moet hoog zijn om de interrupts in het algemeen te laten werken. Als een teller op 0 aankomt wordt een interrupt afgegeven als het bijbehorende interrupt-maskerbit hoog is. Met bit 0 wordt aangegeven of de wekker een interrupt kan veroorzaken. De periodieke interrupts kunnen gelijktijdig met de wekker aktief zijn. Er zijn zes periodieke interruptsignalen mogelijk, 1/100 s tot en met een keer per dag. De uitgangen van 1/100 s en 1/10 s kunnen respektievelijk ±2,5 % en ±0,15 % afwijken. Over een sekonde gemeten zijn ze stabiel. Na elke interrupt moet een reset volgen, de uitgang blijft anders aktief (laag).

Address						Function	DATA								Value
A4	A3	A2	A1	A0	HEX		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
0	1	0	0	0	08	RAM-1/100 seconds	M	.	.	.	.	.	.	.	0-99
0	1	0	0	1	09	RAM-hours	–	M	–	.	.	.	.	.	0-23
						12 hour Mode	*	M	–	–	.	.	.	.	1-12
0	1	0	1	0	0A	RAM-minutes	M	–	.	.	.	.	.	.	0-59
0	1	0	1	1	0B	RAM-seconds	M	–	.	.	.	.	.	.	0-59
0	1	1	0	0	0C	RAM-month	M	–	–	–	.	.	.	.	1-12
0	1	1	0	1	0D	RAM-date	M	–	–	.	.	.	.	.	1-31
0	1	1	1	0	0E	RAM-year	M	.	.	.	.	.	.	.	0-99
0	1	1	1	1	0F	RAM-day of week	M	–	–	–	–	.	.	.	0-6
1	0	0	0	0	10	Interrupt Status and Mask Register	+	.	.	.	.	.	.	.	
1	0	0	0	1	11	Command register	–	–	.	.	.	.	.	.	

Figuur 5-23b. De wekker-registers

INTERRUPT MASK REGISTER ADDRESS (10000b, 10h) WRITE-ONLY							
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Not Used	Day	Hour	Min.	Sec.	1/10 sec.	1/100 sec.	Alarm

Figuur 5-24a. Het interruptmasker-register

De bits van het interruptmasker hebben de volgende funktie:

dec	bit	funktie
1	0	0= wekker werkt niet; 1= wekker werkt
2	1	1= periodiek interrupt op 1/100 s
4	2	idem 1/10 s
8	3	idem s
16	4	idem minuten
32	5	idem uren
64	6	idem dagen
128	7	niet gebruikt

5.17.2.1.5 • Interrupt-statusregister
Hiervoor moet vanaf adres 16 gelezen worden. De interrupt-status geeft aan of er een interrupt is afgegeven en welke tellers de nulstand bereikt hebben sinds de laatste keer dat de status is gelezen. Hiermee kan de oorzaak van een interrupt achterhaald worden. Elke teller die op 0 aankomt maakt een bit aktief. Ook als het bijbehorende bit in het interruptmasker-register niet hoog is en dus geen interrupt op de uitgang door de bijbehorende teller is afgegeven. Als dus bijvoorbeeld eens per dag een interrupt moet worden afgegeven, zullen de bits van de 1/100 s tot en met de uren ook hoog zijn. Dit geldt ook voor het alarm-bit. Bit 7 wordt hoog als er werkelijk een interrupt op de uitgang is geweest. Als het interrupt-statusregister gelezen is, worden alle bits automatisch weer op 0 gezet. Door deze leesaktie wordt tevens de interrupt-uitgang gereset.

De bits hebben de volgende funktie:

Dec	Bit	Funktie
1	0	wekker-alarm
2	1	1/100 s
4	2	1/10 s
8	3	s
16	4	minuten
32	5	uren
64	6	dagen
128	7	algemene interrupt-indikatie

• Resetten van de interrupt-uitgang
Na een interrupt moet het interrupt-register gelezen worden om de uitgang en het register te resetten. Tot dat moment blijft de uitgang laag. Op de stijgende flank aan het eind van de opdracht "lees 1/100 s-register" worden de interrupt-uitgang en het interrupt-register gereset.

• Het gebruik van de interrupt-uitgang
De interrupt-uitgang is een belangrijke funktie van het IC. Daarom is die in het schema meer gedetailleerd weergegeven. De elektrische eigenschappen van de interrupt-uitgang komen verderop aan bod. De uitgang kan hoog of laag aktief zijn. Bij dit schema is de uitgang op pin 12 laag aktief. Een belangrijke funktie kan het starten van subroutines op een bepaald tijdstip zijn. Een andere mogelijkheid is dat de computer zichzelf uit kan schakelen om daarna op een geprogrammeerd tijdstip weer aan te gaan. Dit lijkt misschien een exotisch idee, maar de praktijk is anders. Als op een afgelegen plaats met een

INTERRUPT STATUS REGISTER ADDRESS (10000b, 10h) READ-ONLY							
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Global Interrupt	Day	Hour	Min.	Sec.	1/10 sec.	1/100 sec.	Alarm

Figuur 5-X24b. Het interrupt-statusregister

bepaalde regelmaat metingen moeten worden gedaan kan de energievoorziening bijvoorbeeld met zonnecellen gebeuren. Denk aan een afgelegen weerstation. Het totale energieverbruik van zo'n systeem is dan heel belangrijk. De computer kan nu aangezet worden op een te programmeren tijdstip. De software kan na een koude start alle gewenste taken uit zichzelf verrichten en een nieuwe tijd opgeven waarop de volgende meting moet worden gedaan. Daarna kan de voedingsspanning via een uitvoerpoort die een relais bestuurt uitgezet worden. De alarmuitgang van de klok aktiveert daarna dit relais, zodat er een koude start van het systeem volgt.

5.17.3 Het programmeren

Het programmeren omvat de initialisatie, de tijdfunkties en de interrupt-aktiviteiten. Als er alleen maar met tijds- en datuminformatie gewerkt wordt, beperkt het programmeren zich tot het werken met het kontroleregister en de acht teller-registers. Als de alarmtijduitgang en/of de periodieke signalen gebruikt worden, zijn ook de andere registers nodig.

5.17.3.1 Het instellen en lezen van de tijd

Om de tijd in te stellen moeten eerst de tellers stilgezet worden. Daarvoor wordt bit 3 van het kontrolewoord gebruikt.
Daarna kunnen de gewenste tijd en datum naar de diverse registers geschreven worden. De teller wordt daarna gestart door op het ingestelde tijdstip een kontrolewoord te schrijven met bit 3 op 1. Datzelfde kontrolewoord moet ook informatie over de gebruikte kristalfrekwentie bevatten.
Het lezen van de tijd kan zonder meer uit de registers gebeuren. Maar dat kan een onduidelijke situatie opleveren. Als eerst het 1/100 s-register gelezen wordt, zal de tijd in de registers vastgezet worden. Deze kan dan stabiel uitgelezen worden. Door daarna opnieuw het 1/100 s-register te lezen zullen de dataregisters de tellers weer volgen. Dit is dus wezenlijk anders dan de teller stop zetten via bit 3 van het kontrolewoord.
Het verschil tussen direkte en indirekte adressering komt verderop nog eens aan de orde.

Programmavoorbeeld voor direkte adressering

Instellen van de teller:

OUT 17,0	Stop de teller
OUT 0,0..99	schrijf 1/100 s
OUT 1,0..23	schrijf uren
OUT 2,0..59	schrijf minuten
OUT 3,0..59	schrijf s
OUT 4,1..12	schrijf maanden
OUT 5,1..31	schrijf dag van de maand
OUT 6,0..99	schrijf jaar
OUT 7,0..6	schrijf dag van de week
OUT 17,12	start teller: 32 kHz, 24uurs, geen alarm/interrupt.

Om de tijd te lezen:

A=IN(0)	zet de teller-registers vast
X=IN(1)	lees uren
Y=IN(2)	lees minuten
Z=IN(3)	lees s
A=IN(0)	registers volgen de tellers weer
PRINT X,Y,Z	druk gelezen tijd af

Om de datum te lezen:

A=IN(0)	zet teller-registers vast
X=IN(5)	lees dag van de maand
Y=IN(4)	lees maand
Z=IN(6)	lees jaar
A=IN(0)	registers volgen de teller weer
PRINT X,Y,Z	druk gelezen datum af

Programmavoorbeeld met indirekte adressering:

OUT 1,17	kies kontroleregister
OUT 0,0	schrijf mode-woord 0 (stop teller)
OUT 1,0	kies 1/100 s-register
OUT 0,0..99	schrijf waarde in 1/100 s-register
OUT 1,1	kies urenregister
OUT 0,0..23	schrijf uren
OUT 1,2	kies minutenregister
OUT 0,0..59	schrijf minuten
OUT 1,3	kies s-register
OUT 0,0..59	schrijf s
OUT 1,4	kies maandregister
OUT 0,1..12	schrijf maanden
OUT 1,5	kies dag-van-de-maandregister
OUT 0,1..31	schrijf dag van de maand
OUT 1,6	kies jaarregister
OUT 0,0..99	schrijf jaar
OUT 1,7	kies dag-van-de-weekregister
OUT 0,0..6	schrijf dag van de week

OUT 1,17	kies kontroleregister
OUT 0,12	schrijf kontrolewoord, start teller

Het lezen van de tijd:

OUT 1,0	kies 1/100 s-register
A=IN(0)	zet inhoud teller-registers vast
OUT 1,1	kies urenregister
X=IN(0)	lees urenregister
OUT 1,2	kies minutenregister
Y=IN(0)	lees minutenregister
OUT 1,3	kies s-register
Z=IN(0)	lees s-register
OUT 1,0	kies 1/100 s-register
A=IN(0)	de teller-registers volgen de tellers weer
PRINT X,Y,Z	druk gelezen tijd af

5.17.3.2 Interrupts programmeren
Het programmeren van de interrupts bestaat uit het instellen van de gewenste interrupts via de daarvoor bestemde registers en het resetten van de interruptfunktie door het lezen van het interrupt-statusregister.
Bij het instellen kan gekozen worden uit de zes periodieke interrupts, die met het interrupt-register kunnen worden ingesteld, en een wekker-interrupt. Van het kontroleregister moet bit 4 hoog zijn. Na een interrupt moet altijd een reset-aktie volgen voordat een nieuwe interrupt kan worden afgegeven.
Het volgende voorbeeld geldt voor direkte adressering; aan de hand van de voorgaande programmavoorbeelden is snel in te zien hoe dat voor indirekte adressering moet.

Instellen van een wekkertijd:
(bijvoorbeeld elk jaar op 3 januari om 12.38 u 42 s)

OUT 8,128	1/100 s (doet niet mee)
OUT 9,12	uren
OUT 10,38	minuten
OUT 11,42	sekonden
OUT 12,1	maanden
OUT 13,3	dag van de maand
OUT 14,128	jaar (doet niet mee)
OUT 15,128	dag van de week (doet niet mee)

Schrijven interrupt-masker voor wekker (alarm) aktief:
OUT 16,1
Schrijven mode-woord:
(32kHz, 24 uur, teller loopt, geen test, interrupt aan)
OUT 17,28
Na een interrupt, reset interrupt-uitgang:
X=IN(16)

Instellen van periodiek alarm:
(geef elke minuut een interrupt op 00.00 sec)
OUT 16,16
Mode-woord zonodig, alleen als interrupt al niet aktief is:
OUT 17,28
Reset interrupt-uitgang:
X=IN(16)

5.17.4 Het schema
De kaart bestaat uit een aantal delen: adressering, oscillator-circuit, batterijvoeding en interrupt-uitgangen. Deze vier worden nu elk apart besproken.

5.17.4.1 De adressering
De grote hoeveelheid registerkeuzelijnen die bij de ICM7170 gebruikt worden, maken het adresseren tot een interessant probleem. Daarbij komen twee mogelijkheden aan de orde die bij computers in het algemeen onderscheiden worden: direkte en indirekte adressering. Eerst komen de beide principes aan bod, daarna de hier gebruikte dekoderingsschakeling.

- Direkte adresseringAls alle adreslijnen van een periferie-IC rechtstreeks met een adreslijn van de CPU zijn verbonden heet dat direkte adressering. Elk adres is direkt met de adreslijnen aan te wijzen. Doordat de 18 interne registers van de 7170 direkt met de vijf registerkeuzelijnen bereikbaar zijn, kan uitstekend met direkte adressering gewerkt worden. De adreslijnen nul tot en met vier worden dan met de registerkeuzelijnen R0...4 verbonden. Eén leespuls en één schrijfpuls zijn voldoende om een IC met direkte adressering te besturen. Een programma is eenvoudig te schrijven, elk adres kan direkt met één IN- en/of OUT-instruktie bereikt worden.

- Indirekte adressering
Bij sommige computers zijn geen acht adreslijnen voor het Mikrosysteem vrij. De acht kaartkeuzelijnen en de vijf registerkeuzelijnen van het Mikrosysteem kunnen dan niet allemaal aangesloten worden. Dan kan het beste wel met de acht kaartkeuzesignalen

gewerkt worden; daarvoor worden drie adreslijnen gebruikt. Er moet dan een mouw gepast worden aan de ontbrekende adressignalen voor de vijf registerkeuzelijnen. De oplossing daarvoor heet indirekte adressering. Op de één of andere wijze wordt de databus gebruikt om óók adresinformatie te versturen. De 80XXX-CPU's doen dat met het signaal ALE, Address Latch Enable. Met dit signaal wordt onderscheiden of de databus echt data voert of dat er adressen op staan. De 80XXX-CPU's gebruiken dat om het aantal pinnen op het IC te beperken. Dit is namelijk sterk bepalend voor de prijs van een IC. In principe komt het er voor periferie-IC's op neer dat ALE als een schrijfpulsingang voor een adresregister kan worden beschouwd. Om met een bepaald adres te werken moet eerst het gewenste adres in het adresregister worden geschreven. Bij periferie-IC's gaat het altijd om het kiezen tussen interne registers. Over het algemeen hoeven daarvoor maar een paar registerkeuzelijnen aangestuurd te worden. Het basisadres van het IC moet ook via ingangen als Chip Select nog vastgelegd zijn. Bij het Mikrosysteem wordt dat door de kaartkeuzesignalen verzorgd. Om de registerkeuze te bepalen wordt het gewenste adres op de databus gezet en de ALE-lijn wordt even aktief gemaakt. Over het algemeen is dat een hoog aktieve puls, in tegenstelling tot de laag aktieve lees-en-schrijfpuls. Als het adres in het IC is ingelezen, kan door de CPU op een vast adres vanuit het gewenste register worden gelezen of ernaar toe worden geschreven. Elke invoer- of uitvoeropdracht bestaat dus uit twee opdrachten. Eerst het gewenste adres schrijven, daarna het gewenste databyte lezen of schrijven. Het is nu wel duidelijk waarom dit indirekte adressering heet.
Ook het RAM- of ROM-adresseringsbereik van een CPU kan uiteraard op deze manier vergroot worden. Daarbij wordt het adresgebied in een aantal zogenaamde pagina's verdeeld. Dat zijn aaneengesloten geheugengebieden die via één adres in het indirekte adresseringsregister kunnen worden bereikt. Via een daarvoor bestemde uitvoerpoort wordt bepaald met welk deel van het geheugen wordt gewerkt. Als van pagina gewisseld moet worden, moet daarvoor dus een speciale opdracht gegeven worden. Bij MSX is op die manier voorzien in de mogelijkheid om het geheugen heel ver uit te breiden. Doordat niet alle fabrikanten op dezelfde manier met deze indirekte adressering om zijn gegaan, is dat een probleem voor de MSX-kompatibiliteit geworden. Bij de MS-DOScomputers met een 8088/8086-CPU speelt dat probleem eveneens. Daar bestaat een standaard van Lotus / Intel / Microsoft voor het via paginering uitbreiden van het geheugen boven 640 k. Om met deze paginering te werken moet de software van aparte driver-routines zijn voorzien. Een programma dat er niet speciaal voor is geschreven maakt dus geen gebruik van de extra RAM.

- De dekoderingsschakeling voor indirekte adressering

Om binnen het Mikrosysteem met indirekte adressering te werken moeten er per kaartkeuzesignaal twee aparte schrijfpulsen en een leespuls kunnen worden opgewekt. Met een HCT138 als dekodeer-IC is dat goed te doen. Vooral de extra poortingangen komen goed van pas, want met dit IC kan vrijwel de hele kontrolesignaalbewerking worden gedaan. De drie dekoderingsingangen worden aangestuurd met −Lees, −Schrijf en Registerkeuze 0. Registerkeuze 0 is vrijwel altijd verbonden met adreslijn 0. Afhankelijk van de toestand van die lijnen kan één van de uitgangen laag aktief worden. Op vier uitgangen kunnen dus geldige signalen beschikbaar zijn. Y1 is schrijf met A0 = 0, Y2 is lees met A0 = 0, Y5 is lees met A0 = 1 en Y6 is schrijf met A0 = 1. Via de poortingang G2A zorgt −Kaartkeuze ervoor dat de uitgangen alleen aktief worden als de kaart aangesproken wordt. Het −Strobe-signaal op G2B voorziet de uitgangssignalen van timing zodat echte lees- en schrijfpulsen ontstaan.
Voor gebruik met de ICM7170 is alleen nog een inverter voor het aansturen van ALE nodig. Als er met een periferie-IC zonder ALE-ingang wordt gewerkt, kan een HCT374-uitvoerpoort gebruikt worden. Op die manier kan een byte op de databus als registerkeuze gebruikt worden. Zie daarvoor ook het gedeelte over de TTL invoer/uitvoerkaart. De HCT374-uitgangsbuffer kan rechtstreeks met het Y6-uitgangssignaal van de HCT138 aangestuurd worden, dus dan is er geen inverter nodig. De ingangen van de HCT374-buffer worden met de databus verbonden. De uitgangen worden verbonden met de registerkeuze-ingangen van de periferie schakeling.

• De adressering op deze kaart
Met jumpers kan gekozen worden uit direkte of indirekte adressering.
* Als er genoeg adreslijnen beschikbaar zijn is direkte adressering sneller en eenvoudiger qua software. De jumpers 1...5 moeten gesloten worden om de registerkeuze-ingangen met de registerkeuzelijnen te verbinden. Jumper J12 moet gesloten worden en J11 open zijn, zodat A0 geen invloed op de kontrolesignalen heeft. ALE moet nu altijd hoog zijn, wat zo is omdat ingang C van de HCT138 aan aarde ligt.
* Bij indirekte adressering wordt maar één registerkeuzelijn gebruikt, bij voorkeur A0. Zoals gezegd kan de ALE-ingang als een schrijfadresregister-ingang worden gezien. Een positieve puls zal op de dalende flank de data in het adresregister schrijven. Als dit signaal wordt gebruikt, kan via dezelfde buslijnen data en register-adresinformatie vervoerd worden. De keuze tussen adres of data op de databus wordt dus met registerkeuzelijn 0 gemaakt.

5.17.4.2 De oscillator
Het echte oscillatorcircuit zit in het IC. Dankzij de interne spanningsstabilisatie en de speciale opbouw van dit circuit, een CMOS-''Pierce''-oscillator, werkt de klok nauwkeurig bij een laag stroomverbruik. Slechts een kristal en twee kondensatoren moeten extern toegevoegd worden. De keuze van het kristal bepaalt het stroomverbruik en de benodigde batterijspanning. De kondensatoren moeten eigenlijk ook aan het kristal aangepast worden; de kapaciteit moet ongeveer twee keer zo groot zijn als die van het kristal. Met de aangegeven waarden werkt het normaal gesproken prima. Met C2 kan de oscillator precies afgeregeld worden. Bij een grotere kapaciteit loopt de klok langzamer. De eenvoudigste manier bestaat uit het regelmatig vergelijken van de real time klok met bijvoorbeeld het signaal van de tijdmelding op de radio of via de telefoon (002). Het verschil moet dan op het gevoel bijgeregeld worden. Als dat enige keren met redelijke tussenpozen gedaan wordt, is de afregeling op den duur behoorlijk goed. Met een nauwkeurige frekwentiemeter kan de oscillator in één keer afgeregeld worden. Het probleem is daarbij de stabiliteit van de referentie van de frekwentiemeter. Gebruik daarvoor bij voorkeur een frekwentie-referentie-ontvanger voor een referentie-zender zoals DCF77. Als daarover kan worden beschikt, kan de meting ook met de PIT 8253-teller-basiskaart gebeuren.
De interrupt-uitgang moet op een interrupt voor elke sekonde worden gezet. Dit signaal kan dan gemeten worden. Met C2 kan de oscillator afgeregeld worden. Meet tussen de dalende flanken op pin 12. Als een periode van 1,000000 s is gemeten, is de oscillator goed afgesteld. Let er op dat de interrupt-uitgang na elke meting gereset moet worden met een software-opdracht.

De kristalfrekwenties waaruit gekozen kan worden zijn:
32,768 kHz, 1,048576 MHz, 2,097152 MHz en 4,194304 MHz

Frekwentie, batterij-stroomverbruik en batterijspanning:
32kHz: 2..20 μA, 1,9 V...3,7 V (Vmax= +5 V − 1,3 V)
Rest: 20..150 μA, 2,6 V..3,7 V (Vmax= +5 V − 1,3 V)

5.17.4.3 Batterijvoeding
Een belangrijke eigenschap van het IC is de automatische omschakeling tussen batterijvoeding en gewone voeding. Met D1 en R1 kan een nikkel-cadmium-akku op spanning gehouden worden. Dat kunnen twee penlight-akku's zijn, die samen ±2,4 V afgeven. Als een batterij wordt gebruikt, moet JP15 open blijven. Het is de moeite waard om de levensduur van een NiCd-akku en die van een lithium-cel te vergelijken. Alhoewel de eerste akku heet, gaat hij bij een heel laag stroomverbruik niet langer mee dan een lithium-batterij. De NiCd-akku verliest al gauw teveel spanning als de schakeling een tijdje niet onder spanning staat. Een lithium-batterij kan jaren meegaan. Een lithium-cel of een andere batterij geniet dus de voorkeur als de computer niet regelmatig wordt gebruikt.
De minimale batterijspanning om goed te funktioneren hangt af van de frekwentie van het kristal. De batterijspanning mag in geen geval hoger zijn dan de voedingsspanning −1,3 V, Vmax = +V − 1,3 V. Dat is bij een +5 V-voeding dus 3,7 V. De keuze voor een 32 kHz-kristal wordt voor een groot deel door de back-up-spanning en het stroomverbruik bepaald.

Als geen batterijvoeding wordt gebruikt, moet de batterij-aansluiting, pin 14, met massa, pin 13, verbonden worden.
OPMERKING: Bij batterijvoeding moeten de digitale ingangen van het IC niet open worden gelaten. Als de spanningen op de ingangen in het overgangsbereik komen, is het stroomverbruik namelijk relatief hoog. Daardoor wordt de levensduur van de batterij sterk bekort. −Rd en −Wr moeten aan de +5 V-aansluiting op de kaart worden gelegd, ook al staat daar geen spanning op. De rest mag aan massa of aan +5 V worden gelegd. Daarvoor zijn de pull-up-weerstanden R17..R21 aanwezig. Als de Mikrosysteembusbuffer niet tegelijk met de voedingsspanning op de RTC wordt uitgeschakeld, kan de werking van de RTC verstoord worden. Dat kan voorkomen worden door een buffer te plaatsen tussen alle lijnen van de mikrobus en de ICM7170-ingangen. Normaal zal de busbuffer deze funktie dus vervullen. De RTC-kaart kan het beste achteraan de buskabel worden geplaatst; de pull-up-weerstanden zullen dan storingen onderdrukken.

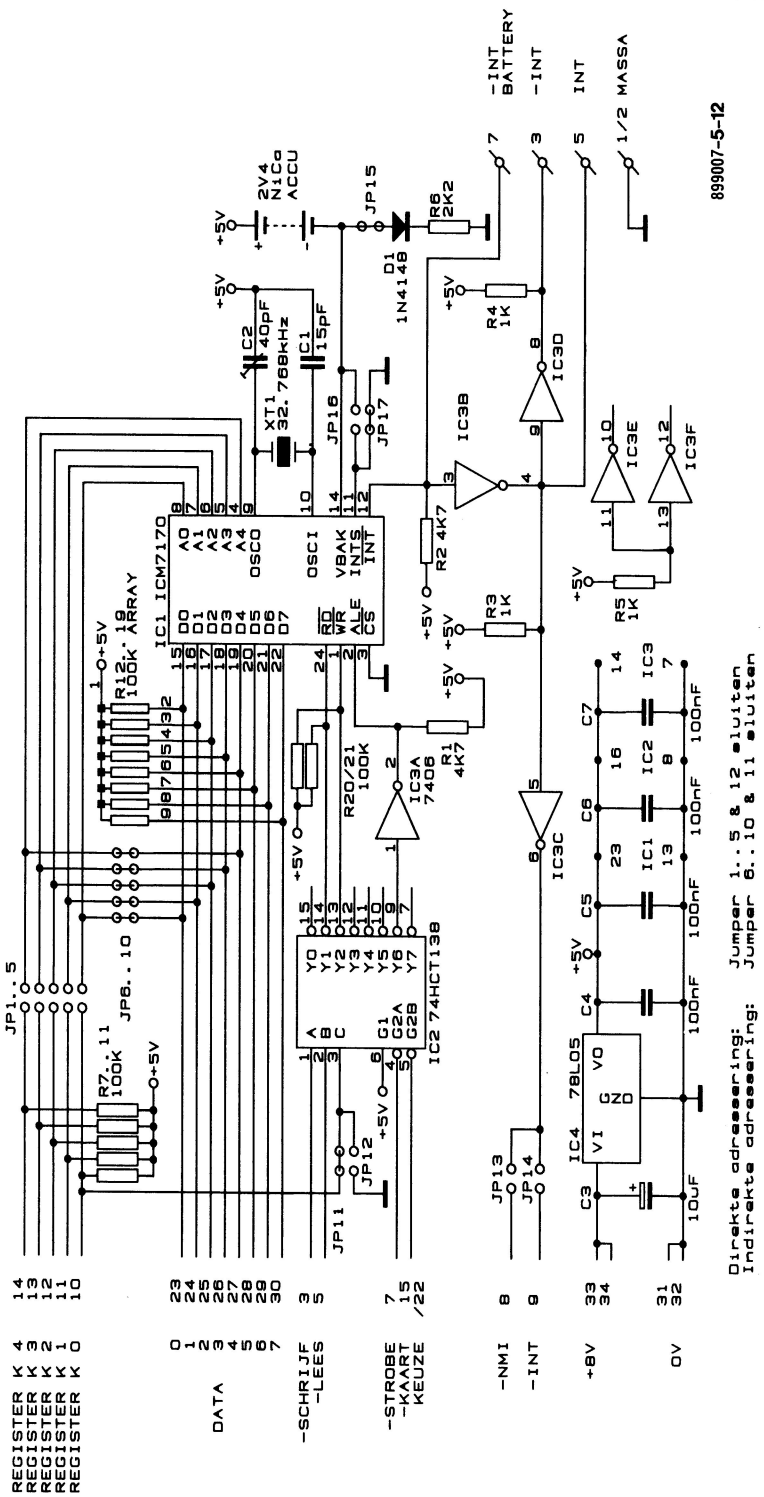
5.17.4.4 De interrupt-uitgangen
De interrupt-uitgang van het IC bestaat uit een NMOSFET. Zowel de drain als de source zijn naar buiten gevoerd. Daardoor kan gekozen worden of het signaal positief of negatief aktief is. Hier wordt met een negatief aktief signaal gewerkt. Dat heeft het voordeel dat ook bij batterijvoeding een interrupt kan worden gegenereerd. Met jumpers JP16 en JP17 moet gekozen worden of de uitgang bij gewone voeding of bij batterijvoeding zinnige signaalniveaus afgeeft.
Voor interrupts bij +5 V-voeding moet jumper JP17 gesloten zijn. De uitgangsspanning van de interrupt-uitgang van het IC varieert dan tussen ca. 4,5 V en ca. 0,5 V. Naar de mikrobus toe is er dan via de twee inverters gewoon een open-kollektoruitgang beschikbaar. Omdat er toch nog inverters over waren, is het interrupt-signaal op de eindkonnektor hoog en laag aktief aanwezig. Daarmee kunnen willekeurige schakelingen aangestuurd worden. Dit zijn dus geen open-kollektoruitgangen; er kan rechtstreeks TTL mee aangestuurd worden.
Om interrupts bij batterijvoeding te veroorzaken moet de direkte uitgang van pin 12 gebruikt worden. Jumper JP16 moet dan gesloten zijn. De MOSFET wordt dus met de min-aansluiting van de batterij verbonden. Als er geen interrupt is, is de spanning tussen de interrupt-uitgang en de gewone massa iets lager dan de batterijspanning; typisch ongeveer 2 tot 2,5 V. Bij een interrupt is de uitgang aktief laag, bijna 0 V ten opzichte van massa. Deze uitgangsniveaus kunnen beter niet rechtstreeks aan een TTL-IC worden doorgegeven. Als er een HCT-versie voor in de plaats wordt gezet, worden het hoge en lage niveau niet meer onderscheiden. Daarom moet er een komparator achter gezet worden die op ongeveer 1,5 V omschakelt. Dit is echter iets voor een vervolgschakeling.

Interruptfunktie:

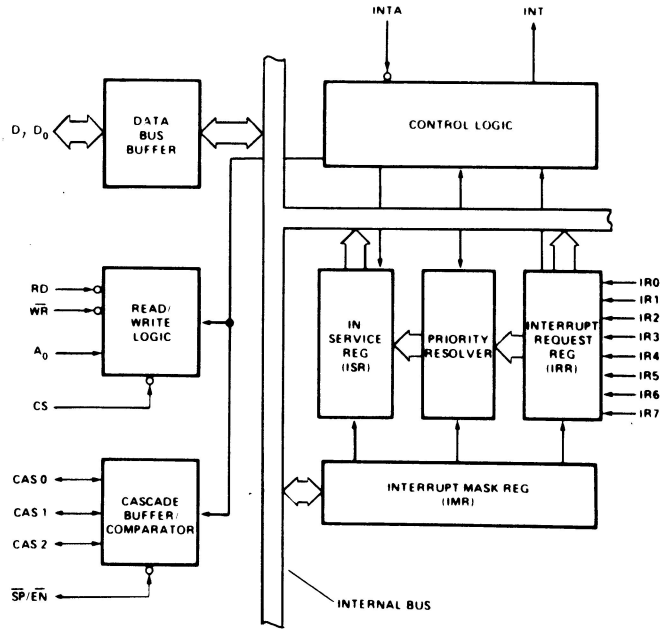
Netvoeding	JP17 sluiten	Vuit: 4,5 V – 0,5 V
Batterijvoeding	JP16 sluiten	Vuit: 2,5 V – 0,1 V

5.18 PIC 8259A-interrupt-expander

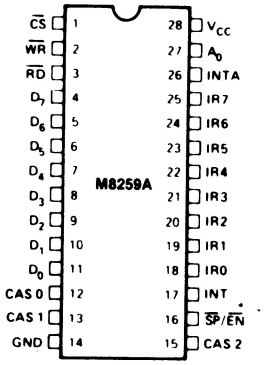
In een computersysteem kan de manier waarop de CPU met de periferie omgaat op twee principieel verschillende manieren gebeuren. De eerste manier heet polling. Daarbij gaat het initiatief uit van de CPU. Deze vraagt voortdurend aan de periferie of er iets te doen valt of gebeurd is. De tweede methode heet: interrupt-gestuurd. Daarbij gaat het initiatief uit van de periferie. Als er iets gebeurd is of moet gebeuren geeft de periferie een seintje aan de CPU. De interrupt-gestuurde methode heeft een aantal voordelen. In de eerste plaats hoeft het programma niet voortdurend aandacht aan de periferie te geven. Daardoor kan de CPU zijn aandacht zoveel mogelijk aan het programma geven. Een ander voordeel is dat er in principe veel sneller op een impuls van buiten gereageerd kan worden. Daarom is een goede interruptstruktuur met name voor meet- en regeltoepassingen van groot belang. Voor real-time-toepassingen is dat zelfs onontbeerlijk. Daar staat tegenover dat het gebruik van interrupts veel meer aandacht bij het programmeren vraagt.



Figuur 5-12. Het schema van de RTC-kaart met de ICM7170



899007 - 5 -X25a



899007 - 5 -X25b

Figuur 5-X25

De meeste kleine CPU's en computers hebben maar twee interrupt-ingangen: de –NMI non maskable interrupt-ingang, de noodrem, en de –INT-interrupt-ingang voor externe programma-beïnvloeding. Zie ook hoofdstuk 3. Ook bij een computer met intern meer interrupt-niveaus, zoals de IBM-PC, wordt bij voorkeur maar één interruptingang voor interrupts vanuit het Mikrosysteem gebruikt. De nu beschreven kaart maakt het mogelijk om acht interrupt-uitgangen op één interruptingang van de computer aan te sluiten. De interrupts worden door de 8259 in volgorde van voorrang (prioriteit) afgewerkt. Met meerdere kaarten kunnen steeds meer interrupt-niveaus worden onderscheiden. Deze kaart kan ook zijn nut bewijzen bij de polling-werkwijze. Er kan dan met één leesinstruktie gezien worden welke periferie aandacht nodig heeft. De 8259 neemt dan een behoorlijk stuk werk uit handen van het programma.

De 8259A Programmable Interrupt Controller (PIC 8259A) wordt ook in de IBM-PC-serie gebruikt, in de PC-AT zitten er zelfs twee. Naast de 8088-CPU is dit misschien wel de grootste bijdrage tot het klasseverschil tussen de 8-bits huiscomputers en de PC. Bijvoorbeeld het feit dat het toetsenbord via interrupts aandacht kan vragen is een direkt merkbaar verschil. De PIC 8259A is speciaal gemaakt om de volgorde van afhandeling van de interrupts hardwarematig te bepalen. Daarvoor is een circuit in het IC beschikbaar dat Priority Resolver heet. Het is een IC met zeer veel mogelijkheden. Als het IC op een 8086/8088- of 8080/8085-bus aangesloten is, kan samen met het ALE-signaal op een aantal speciale manieren worden gewerkt. Hier wordt alleen de polling-mode besproken; deze werkt met elke CPU. Het schema geeft wèl aan hoe met een 808X gewerkt kan worden.

De 8259A beschikt over 10 interne buffers en maar één registerkeuze-adreslijn. Alle 10 interne registers bevinden zich dus op twee adressen binnen het Mikrosysteem. De keuze wordt ook met enige bits van het te schrijven woord bepaald. In het volgende wordt er vanuit gegaan dat de register-adreslijn van de 8259A op Registerkeuze 0 van de mikrobus is aangesloten; in het algemeen is dat adreslijn 0 van de CPU

5.18.1 Het werken met de PIC 8259A

Om te beginnen moet het IC geïnitialiseerd worden met 2 tot 4 initialisatie-kommandowoorden (ICW). Daarna kunnen tijdens het werken met het IC drie verschillende operatie-kommandowoorden (OCW) gebruikt worden. De ICW's moeten allemaal in volgorde na elkaar gegeven worden als ICW1 is geschreven. De OCW's kunnen op elk gewenst moment worden verzonden. Dit moet wel volgens een vast patroon gebeuren.

5.18.1.1 Initialisatie

De initialisatie-kommandowoorden worden genummerd: ICW1, ICW2, ICW3 en ICW4. Voor het Mikrosysteem zijn ICW3 en ICW4 niet van belang; ze hoeven niet te worden geschreven bij initialisatie. Deze worden niet verder besproken. Met ICW1 wordt het IC gereset en de werkwijze van het IC bepaald. ICW2 moet worden geschreven, maar is voor ons ook verder niet van belang.

- ICW1

Om ICW1 te schrijven moet adreslijn nul laag en databit vier hoog zijn.
Met databit 3 kan gekozen worden tussen flanktriggering en niveau-triggering. Bij flanktriggering zal geen nieuwe interrupt na een interrupt-afhandeling volgen als de ingang hoog is gebleven. Alleen een startflank kan opnieuw een interrupt genereren. Dus als een ingang van de kaart van hoog naar laag gaat. Bit 3 hoog is niveau-triggering, laag is flanktriggering.

Met de andere bits van ICW1 wordt het volgende ingesteld; op de achtergronden van de keuze wordt niet verder ingegaan.
* Er volgt geen ICW 4;
* Er wordt een enkele PIC 8259A gebruikt (geen kaskade-mode);
* Het call-adresinterval is 8;
* De interruptvektor voor 808X-mode wijst naar 000.

Nadat ICW1 is geschreven, is het volgende gereset:
* De flankdetektie-circuits;
* Het IMR-register staat op 0;
* Ingang 7 heeft de laagste prioriteit, ingang 0 de hoogste;
* Special Mask Mode is gereset;
* De volgende status-leesaktie komt uit het IRR;
* Het IC funktioneert als niet gebufferde slave met mode 7.

Programmavoorbeelden ICW1:
Flanktriggering :OUT 0,18
Niveautriggering: OUT 0,26

- ICW2

Met ICW2 wordt de interruptvektor voor de 808X-mode opgegeven; dit is voor ons niet van belang. Maar er moet wèl direkt na ICW1 een ICW2 geschreven worden. Schrijf de waarde nul naar het basisadres+1 van de kaart. De geschreven waarde is onbelangrijk voor de door ons gebruikte pollingwerkwijze.
Programmavoorbeeld ICW2:
OUT 1,0

5.18.1.2 Interrupt-afhandeling

Het volgende geldt alleen voor interrupt-afhandeling in de zogenaamde polled-mode, zoals hier gebruikt wordt. De andere wijze van interrupt-beantwoording maakt gebruik van de −MC1lijn op de mikrobus (ALE bij de 808X). Door in de polled-mode te werken kunnen alle CPU's binnen het Mikrosysteem van de 8259 gebruik maken. Ook het programmeren van de interrupt-afhandeling is zo minder CPU/computer-specifiek. Als er met de gebruikte taal en computer op een interruptingang gereageerd kan worden, werkt het al.

Het verloop van een interrupt-aktie:
1) Eén of meerdere periferie-schakelingen maken een ingang aktief en houden deze aktief. Het bijbehorende bit in het IRR wordt hoog.
2) De priority resolver zal de interrupt met de hoogste prioriteit in behandeling nemen. In het IMR wordt gekeken of deze ingang wel mee mag doen. In het in-service-register wordt gekeken of er geen bit van een ingang met dezelfde of hogere prioriteit is gezet. Als de ingang niet gemaskeerd is en er geen interrupt van gelijke of hogere prioriteit in behandeling is, dan zal de interrupt-uitgang naar de CPU aktief worden.
3) Het programma reageert door een OCW3 (operatie-kommandowoord) met polling-opdracht naar de 8259A te schrijven.
4) Direkt daarna wordt een byte vanuit de 8259A gelezen met de registerkeuzelijn laag, dus A0=0. Door deze volgorde van schrijven van een polling-OCW3 en daarna lezen met

A0=0, wordt het bijbehorende bit van de aktieve ingang met de hoogste prioriteit in het ISR op 1 gezet. De waarde van het byte dat gelezen is laat zien welke ingang aktief is.
5) Het programma zal nu verdere aktie moeten ondernemen naar aanleiding van de doorgegeven interrupt. Daarbij moet onder andere de interrupt-uitgang van de periferie weer inaktief gemaakt worden.
Het programma kan op elk moment in het IRR zien welke ingangen aktief zijn, en in het ISR welke interrupt behandeld wordt en welke er wachten op behandeling.
6) Ter beëindiging van de interrupt-serviceroutine moet met een End Of Interrupt-instruktie het bit van de behandelde interrupt-aanvraag in het ISR-register gereset worden. Dit gaat met OCW2.

5.18.1.3 Kommando's voor na de initialisatie
In het IC zijn drie registers aanwezig, waarmee na de initialisatie gewerkt wordt:
Het Interrupt Masker Register (IMR);
het Interrupt Request Register (IRR);
het In Service Register (ISR).

Er worden drie verschillende mode-woorden onderscheiden: OCW1, OCW2 en OCW3. OCW1 is het interrupt-masker; dit wordt alleen gebruikt als dat nodig is. Voor interrupt-afhandeling bij polling wordt altijd eerst OCW3 en daarna OCW2 gebruikt; in die volgorde worden ze ook besproken.

• IMR / OCW1
Via het IMR kunnen ingangen inaktief worden gemaakt. Elk bit hoort bij een ingang; bit 0 = ingang 0, bit 1 = ingang 1, enzovoorts. Als een bit hoog is, is de bijbehorende ingang uitgesloten van reaktie; een laag bit staat voor een ingang die meedoet. Zo kan met het programma bepaald worden welke ingangen een interrupt naar de CPU kunnen veroorzaken. Na initialisatie zijn alle ingangen aktief. Dit kan veranderd worden door een Output Control Word 1 naar het IMR te schrijven. De van aktie uitgesloten ingangen maken wèl een bit in het IRR aktief.

Om een OCW1 naar het IMR te schrijven moet adreslijn 0 hoog zijn. Het geschreven byte is het masker.
Programmavoorbeeld OCW1 naar het IMR schrijven:
OUT 1,0..255

Om uit het IMR te lezen moet registerkeuzelijn 0 hoog zijn. Op deze wijze kan het programma vaststellen welke bits een interrupt kunnen veroorzaken.
Programmavoorbeeld IMR lezen:
X = IN(1)

• OCW3
Het Operation Control Word 3 wordt met de registerkeuzelijn laag geschreven, A0 = 0. Databit 3 moet hoog zijn en de databits 4 en 7 laag. Het OCW3 kan verschillende betekenissen hebben.

– Interrupt-bevestiging
* OCW3 moet worden gebruikt om aan de 8259A de opdracht te geven dat de doorgegeven interrupt in polled-mode wordt afgewerkt. Daarvoor moet bit 2 hoog zijn. OCW3 moet bij polling elke keer als eerste reaktie op een aan de CPU doorgegeven interrupt naar de PIC 8259A geschreven worden.
Direkt na het schrijven van een OCW3 met bit 2 hoog, moet een leesaktie volgen vanaf het basisadres van de kaart. Het byte dat gelezen wordt geeft aan welke de aktieve interruptingang met de hoogste prioriteit is. Bit 7 van dit byte is hoog als er tijdens deze aktie een bit in het ISR gezet wordt, dus als er nog steeds een geldige interrupt-aanvraag vanuit een ingang is. Dan is de waarde dus minimaal 128. Het ingangsnummer van de te behandelen interrupt wordt met bits 0, 1 en 2 doorgegeven. De bits 3, 4, 5 en 6 zijn zonder betekenis. Als alleen waarde 7d (bit 1, 2 en 3 hoog) wordt gelezen is er geen geldige interrupt-aanvraag meer aanwezig. Dit gebeurt dus als een ingang aktief is geweest, maar dat tijdens de polling niet meer is. Als ingang 7 niet gebruikt wordt, kan een storing op één van de ingangen herkend worden als een INT7.
Tijdens de overgang van de schrijfaktie naar de leesaktie wordt in het In Service Register (ISR) het bit hoog gezet dat hoort bij de niet gemaskeerde aktieve ingang met de hoogste prioriteit. De interrupt-uitgang wordt nu ook gereset. Een nieuwe interrupt met dezelfde of lagere prioriteit zal de afhandeling van de huidige interrupt niet meer verstoren met een interruptsignaal naar de CPU. Als ingangen met een hogere prioriteit aktief worden zal de interrupt-uitgang van de 8259A weer aktief worden. Om daar op te kunnen reageren moet overigens door het programma de inter-

ruptingang van de CPU al weer vrijgegeven zijn. De opbouw van de interrupt-serviceroutines is dus van groot belang. Vooral de plaats van de resetfunkties voor de interruptingang van de CPU, de interruptuitgang van de periferie en de 8259A ingang(en).
Programmavoorbeeld interrupt-bevestiging bij polling:
OUT 0,12
X = IN(0)

– Lezen uit de interrupt-registers
OCW3 moet ook gebruikt worden als één van de interruptregisters gelezen moet worden, dat kan op elk gewenst moment gebeuren. Daarvoor moet bij polling, dus in ons geval, altijd eerst een OCW3 geschreven worden, waarbij aangegeven is welk register bij de volgende leesaktie gelezen moet worden.

* IRR
Het Interrupt Request Register laat zien welke ingangen op het moment van lezen aktief zijn. Daarbij is dus geen enkele invloed van het masker-register of van de prioriteit te merken. Eerst moet een OCW3 met waarde 10d geschreven worden; de bits 1 en 3 zijn dus hoog. De volgende leesaktie met registerkeuze nul laag, laat de inhoud van het IRR zien.
Programmavoorbeeld IRR lezen:
OUT 0,10
X = IN(0)

* ISR
Het In Service Register laat zien welke 8259A-interrupt-aanvraag-ingang op dat moment behandeld moet worden of wordt. Als een interrupt-serviceroutine door een interrupt met hogere prioriteit wordt onderbroken, wordt nog een bit in het ISR gezet. Er kan dus meer dan één bit aktief hoog zijn. Bij het schrijven van een interrupt-serviceroutine moet goed gelet worden op het soort EOI-kommando en de plaats daarvan in het programma. Een bit in dit register wordt door het OCW3-polling-modekommando vanuit het IRR aktief (hoog) gemaakt. De bits worden gereset door een EOI-kommando.
Programmavoorbeeld ISR lezen:
OUT 0,11
X = IN(0)

• OCW2
Het einde van een interrupt-afhandeling moet bestaan uit het schrijven van een End Of Interrupt-kommando, EOI, naar de 8259A. Daarmee wordt de flanktriggering van een ingang en het bijbehorende bit in het ISR gereset. Daarvoor is OCW2 bestemd; deze wordt met adreslijn 0 laag en data bits 3 en 4 laag geschreven. Met de bits 5, 6 en 7 kan een end of interrupt-werkwijze gekozen worden. Met de bits 0, 1 en 2 kan zo nodig aangegeven worden voor welke ingang de EOI bedoeld is. Daarbij wordt het ingangsnummer digitaal gekodeerd aangegeven:
ingang 0 = 000, ingang 1 = 001,
ingang 2 = 010, ingang 7 = 111.

Afhankelijk van de wijze waarop het systeem funktioneert kan er behoefte bestaan aan verschillende manieren om een interrupt te beëindigen. In de eerste plaats kan onderscheid gemaakt worden tussen een specifiek en een niet-specifiek eind van een interrupt.

* Bij een specifieke EOI wordt een door het programma bepaald bit gereset. Daarvoor moeten bit 5 en 6 hoog zijn, terwijl met de bits 0, 1 en 2 aangegeven wordt welk bit gereset moet worden.
Programmavoorbeeld specifiek EOI:
OUT 0,96..103

* Bij een niet-specifieke EOI wordt het ISR-bit met de hoogste prioriteit en de bijbehorende flankdetektie gereset. Dat is dus de interrupt die het laatst aandacht heeft gevraagd. Over het algemeen zal met een niet-specifieke EOI gewerkt worden; daarvoor moet databit 5 hoog zijn.
Programmavoorbeeld niet-specifieke EOI:
OUT 0,32

5.18.1.4 Veranderen van de prioriteit van de ingangen
Soms wordt een aantal periferie-schakelingen aangesloten met dezelfde prioriteit. Nadat een interrupt vanaf een ingang behandeld is moet die de laagste prioriteit krijgen, zodat hij pas weer aan de beurt is als alle andere periferie aan de beurt is geweest. Daarvoor zijn er verschillende rotatie-funkties. Er wordt onderscheid gemaakt tussen automatisch en specifiek roteren.

Na het opstarten heeft ingang 0 de hoogste

prioriteit (0) en ingang 7 de laagste prioriteit (7). Via een rotatie wordt vastgelegd welke ingang de laagste prioriteit krijgt. Vanaf die ingang daalt de prioriteit tot ingang 7; het gaat verder vanaf ingang 0 tot en met de ingang met de minste voorrang (prioriteit-7). Let op! Een hoger prioriteitsnummer betekent een lagere prioriteit (voorrang).
Een voorbeeld maakt het duidelijk.

Voor roteren:
Ingang: 7 6 5 4 3 2 1 0
Prioriteit: 7 6 5 4 3 2 1 0
Ingang 0 heeft de hoogste prioriteit, ingang 7 de laagste.

Na rotatie, waarbij ingang 4 de laagste prioriteit heeft gekregen:
Ingang: 7 6 5 4 3 2 1 0
Prioriteit: 2 1 0 7 6 5 4 3
Ingang 5 heeft de hoogste prioriteit; daarna komen in volgorde van dalende prioriteit ingang 6, 7, 0, 1, 2, 3 en 4.

- Automatisch roteren

Het automatisch roteren gaat gelijktijdig met een niet-specifieke EOI; het kan dan ook als een speciale EOI gezien worden.
Bij automatisch roteren wordt de belangrijkheid van de ingangen zo opgeschoven dat de juist behandelde ingang de laagste prioriteit krijgt. De ingang met het daarop volgende hogere nummer, krijgt de meeste voorrang (prioriteit 0). In het voorbeeld komt dat overeen met het resetten van een interruptaanvraag op ingang 4. Voor een automatische rotatie plus niet-specifieke EOI moeten van OCW2 de databits 5 en 7 hoog zijn.
Programmavoorbeeld automatische rotering bij niet-specifieke EOI:
OUT 0,160

- Specifiek roteren

Hiermee kan het programma op elk gewenst moment instellen welke ingang de laagste prioriteit heeft. Dat komt dus overeen met het geven van de laagste prioriteit aan bit 4 in het rotatie-voorbeeld. Voor een specifiek rotatiekommando moeten van OCW2 de bits 6 en 7 hoog zijn. Met de bits 0, 1 en 2 wordt aangegeven welke ingang de laagste prioriteit krijgt.
Programmavoorbeeld specifiek roteren:OUT 0,192..199

- Specifieke rotatie en EOI

Een specifieke rotatie kan ook worden gekombineerd met een specifieke EOI-instruktie gebeuren. Van OCW2 moeten de bits 5, 6 en 7 hoog zijn. Met de bits 0, 1 en 2 wordt de ingang aangegeven.
Programmavoorbeeld specifieke rotatie en EOI:
OUT 0,224..231

5.18.1.5 Speciale maskeer-werkwijze

De Special Mask Mode (SMM) is een speciale werkwijze van het OCW1 (Interrupt Masker Register). Als de 8259A in de speciale maskeer-werkwijze verkeert, zullen de met een OCW1 in het IMR gemaskeerde ingangen gewoon inaktief zijn. Alle ingangen die niet worden gemaskeerd worden bij het schrijven een masker (OCW1) gereset. Dit is dus een manier om selektief ingangen te resetten. Dat is vooral van nut als tijdens een interruptserviceroutine bepaalde interruptingangen gereset en aktief gemaakt moeten worden.
De speciale maskeer-werkwijze wordt met een OCW3 waarvan de bits 5 en 6 hoog zijn ingesteld. OCW3 wordt met adreslijn 0 laag en bit 3 altijd hoog geschreven. Elke OCW1 die hierna wordt geschreven, funktioneert in speciale maskeer-werkwijze totdat de SMM weer gereset is.
Programmavoorbeeld instellen SMM en opgeven van een masker:
OUT 0,104
OUT 1,0..255
Als het maskeer-kommando OCW3 weer gewoon moet werken, moet een Reset Special Mask Mode-kommando gegeven worden. Dat bestaat uit het schrijven van een byte naar de 8259A met de databits 3 en 6 hoog en met registerkeuzelijn 0 laag.
Programmavoorbeeld reset speciale maskeerwerkwijze:
OUT 0,72

5.18.1.6 Een programmavoorbeeld

In het voorgaande is voldoende op de programmering ingegaan. In het volgende wordt alleen een voorbeeld gegeven van een initialisatie in flanktrigger-mode, en het vastleggen, uitlezen en beëindigen van een interruptaanvraag.

Initialisatie:
OUT 0,18 (ICW1) (flanktriggering, single 8259, geen ICW4)

OUT 1,0 (ICW2) (waarde is onbelangrijk)

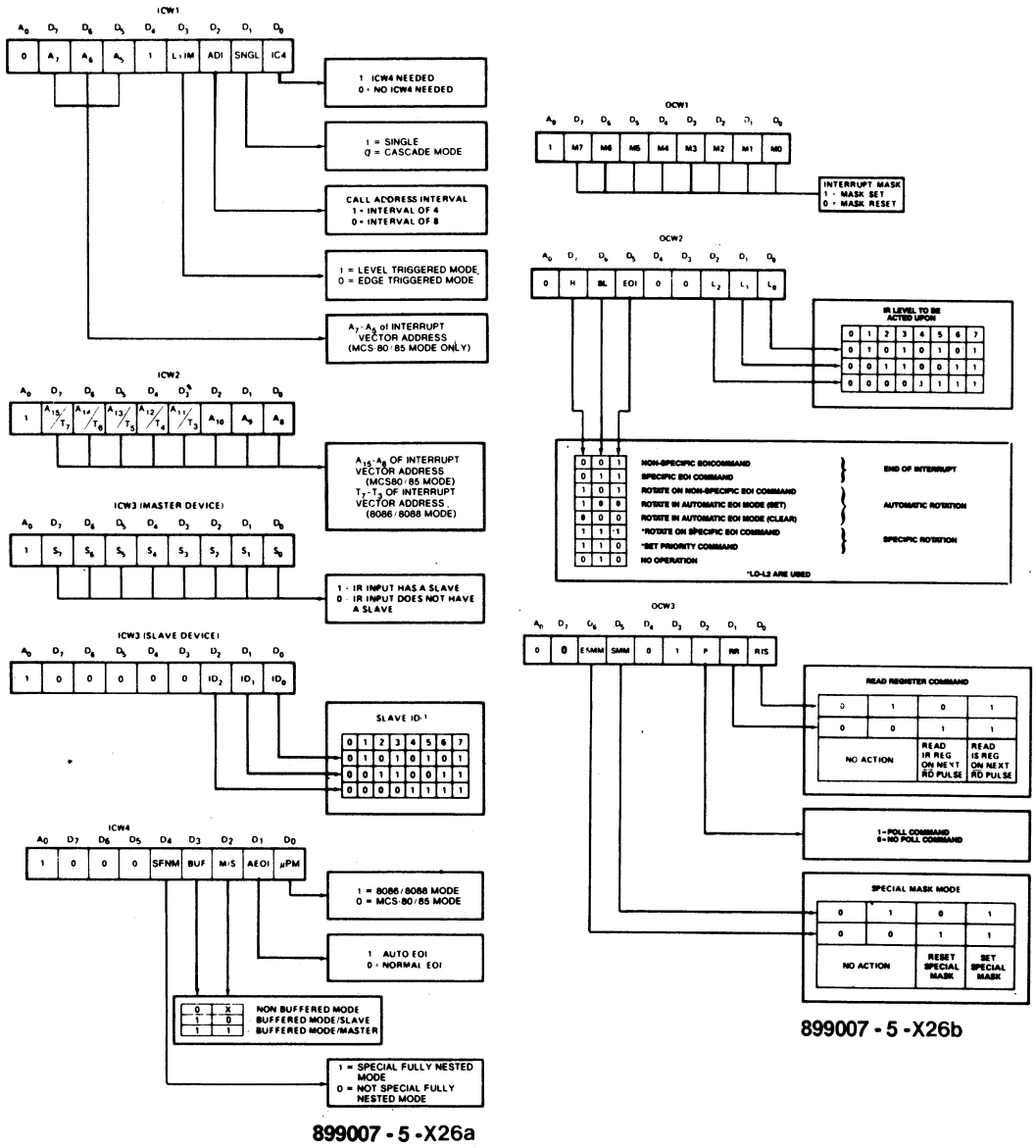
Eventueel een masker zetten:
OUT 1,1..255

Reaktie op een interrupt:
OUT 0,12 (OCW3-polling) (lees het IRR en zet het ISR)
X = IN(0) (de waarde van X geeft de aard van de interrupt aan)

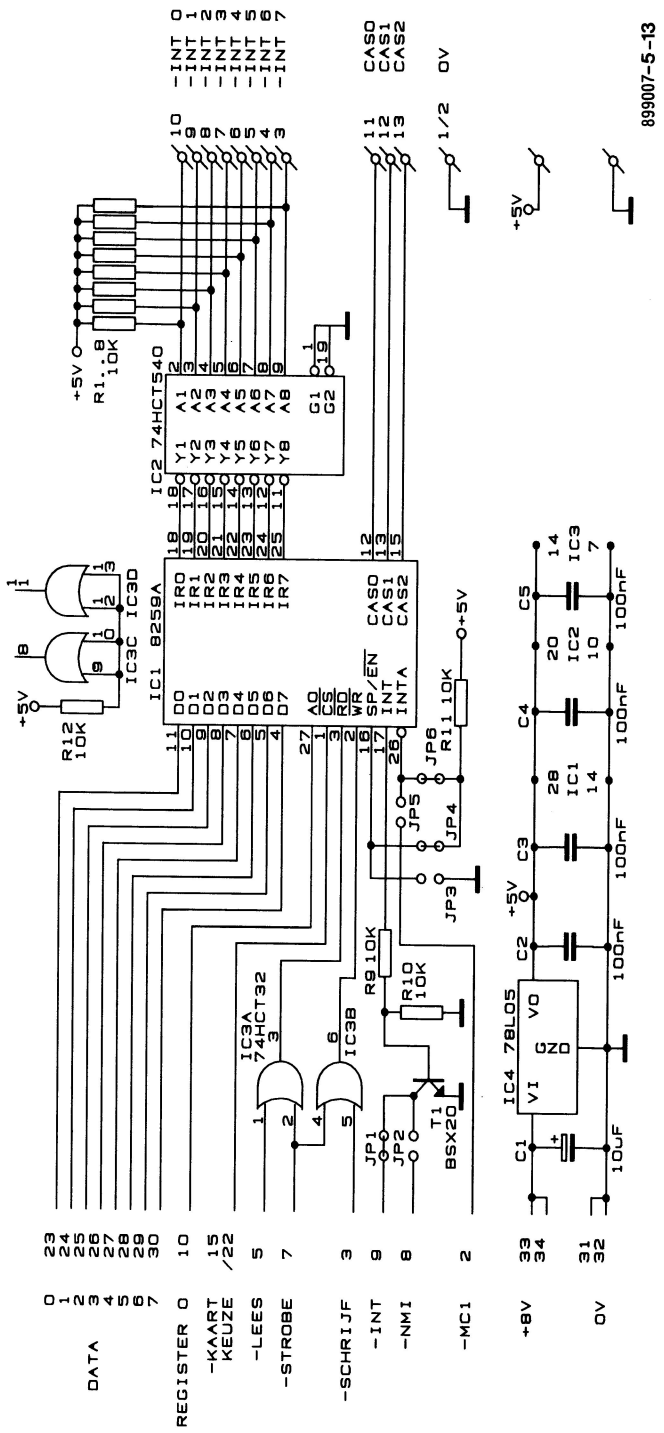
Lezen van het IRR en ISR:
OUT 0,10
IRR = IN(0)
OUT 0,11
ISR = IN(0)
Niet-specifiek einde van de interrupt:
OUT 0,32

5.18.2 Meer dan acht interrupt-ingangen

Het is zonder problemen mogelijk om meer-



Figuur 5-X26. Een volledig overzicht van de ICW's en OCW's.



Figuur 5-13. Interrupt-expander-kaart

dere 8259A-interrupt-controllers met elkaar te verbinden. Bij de 808X-werkwijze kan op een speciale manier met 64 ingangen gewerkt worden. Daarvoor zijn de drie CAS-in/uitgangen aanwezig. Dit wordt hier niet verder besproken; zie de datasheets. Bij polling kost het een paar extra programmaregels. De opbouw bestaat bij meer dan acht ingangen uit een gelaagde struktuur. De eerste laag bestaat uit één PIC 8259A, de volgende laag bestaat uit maximaal 8 stuks 8259A. De uitgangen daarvan zijn elk met een ingang van de eerste laag verbonden. Zo ontstaan 64 interrupt-ingangen. Dit kan in theorie zo eindeloos verder uitgebreid worden. Elke interrupt-bevestiging en interrupt-beëindiging (EOI) moet naar elke laag gestuurd worden. Dus per laag wordt het programma iets trager. De PIC 8259A-kaart kan van een HCT138-multiplexer worden voorzien om voor aansturing van meer interrupt-controllers per –Kaartkeuzelijn te zorgen; zie het schema van de PIT 8253-basiskaart.

5.18.3 De kaart

De hardware is zoals het schema laat zien, eigenlijk heel eenvoudig. Een HCT32 zorgt ervoor dat –Lees en –Schrijf samen met –Strobe een lees- of schrijfpuls opleveren: de gebruikelijke aanpassing van een 82XX-periferie-IC op de mikrobus. De 74HCT540 buffert en inverteert de ingangen van de kaart zodat ze laag aktief zijn. De pull-up-weerstanden R1...R8 zorgen ervoor dat de open-kollektoruitgangen van de interruptuitgangen van de Mikrosysteem-basiskaarten een bruikbaar TTL-signaal opleveren. De beide programmeerbare parallel-in/uitvoer-basiskaarten geven tevens een positief aktief interrupt-signaal op de eindkonnektor af. Bij een vaste opstelling met alleen positief aktieve interrupt-uitgangen, kunnen de HCT540 en de pull-up-weerstanden worden weggelaten. Deze interrupt-uitgangen kunnen dan rechtstreeks op de ingangen van de 8259A worden aangesloten. Transistor T1 zorgt voor een laag aktieve open-kollektor-interrupt-uitgang, zoals de mikrobus vereist. Via jumper JP1 of JP2 wordt de gebufferde en geïnverteerde interrupt-uitgang van de 8259A met de –INT- of de –NMI-lijn van de mikrobus verbonden. Meestal zal jumper JP1 dus gesloten zijn.

De andere jumpers zijn niet echt belangrijk voor toepassing in het Mikrosysteem; jumpers JP3 en JP6 sluiten, JP4 en JP5 open laten.

Deze jumpers zijn alleen van belang voor de 808X-werkwijze. Jumper JP3/4 is voor de keuze tussen slave of master in kaskade-mode; verbind jumper JP3 voor slave mode. Jumper JP4/JP5 is voor het doorgeven van –MC1 (ALE) bij gebruik met een 808X-CPU; sluit jumper JP6 omdat niet wordt gewerkt met INTA (=ALE=–MC1). De drie in/uitgangen CAS 0, 1 en 2 zijn voor gebruik in kaskade-mode.

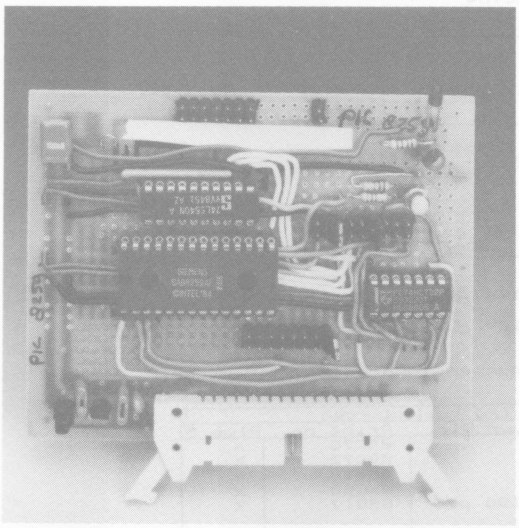


Foto 16. Prototype van de interrupt-expander-kaart

5.19 Kaarten van andere bussystemen

In het volgende wordt kort ingegaan op de eigenschappen van drie andere I/O-systemen, waarvan de kaarten op de mikrobus kunnen worden aangesloten. Het is natuurlijk handig als kaarten die al gebouwd zijn opnieuw gebruikt kunnen worden. Deze min of meer bekende I/O-systemen zijn alle drie voor een bepaalde computer ontworpen. De Elektuur-bus en het Velleman-systeem zijn daarna aangepast voor gebruik met meerdere computers. En dit boek is in zekere zin het vervolg van het derde systeem, waarbij helemaal opnieuw begonnen is.

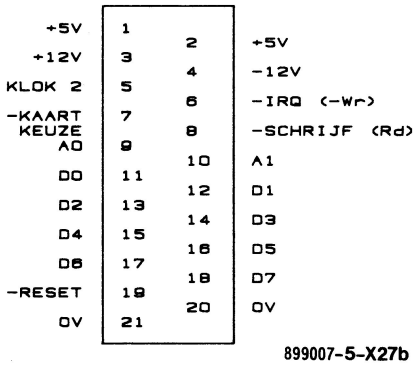
5.18.4 Universele Elektuur-bus

De universele Elektuur-bus is eigenlijk in

MICRO BUS		ELEKTUUR BUS		OPMERKINGEN
33	+8V	1	+5V	Via 78L05.
34	+8V	2	+5V	
N. A.		3	+12V	Aansluiting op adaptor. Zie +12V.
N. A.		4	-12V	
7	-STROBE	5	KLOK 2	Via inverter
3	-SCHRIJF	6	-IRQ (-Wr)	
15	-KAART	7	-SLOT SEL	Jumperveld op adaptor.
/	KEUZE			
22	0...7			
5	-LEES	8	RD/-WR	Via inverter
15	REG. 0	9	A0	
16	REG. 1	10	A1	
23	D0	11	D0	
24	D1	12	D1	
25	D2	13	D2	
26	D3	14	D3	
27	D4	15	D4	
28	D5	16	D5	
29	D6	17	D6	
30	D7	18	D7	
1	-RESET	19	NRST	
31	0V	20	0V	
32	0V	21	0V	

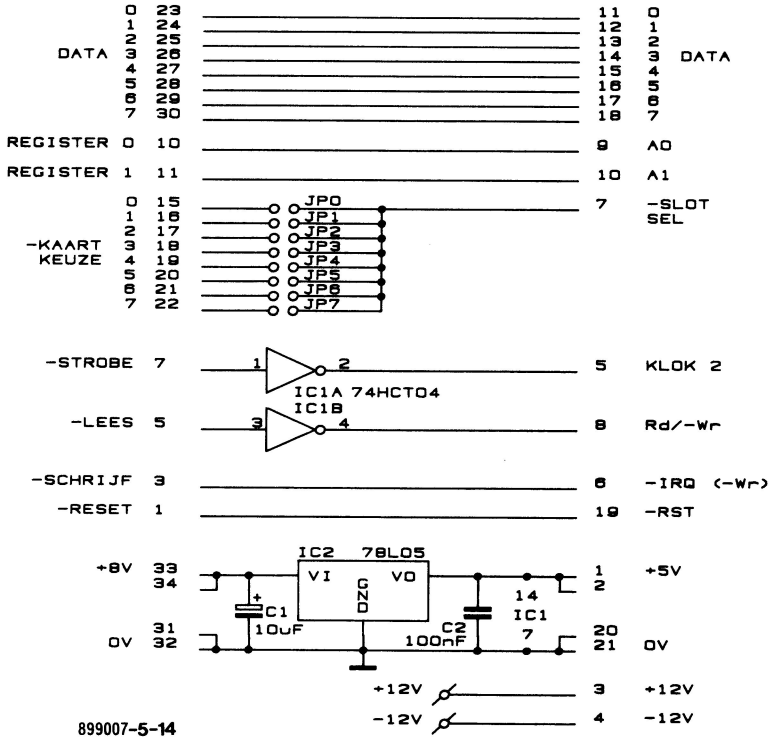
899007-5-X27a

ELEKTUUR CONNECTOR



899007-5-X27b

Figuur 5-X27.



Microbus-Elektuur kaarten aanpassing

Lijst van elektuur universele I/O bus kaarten				
Funktie	I.C.	Elektuur Blz.	Print nr	Plus 5
Parallel	LS244/173		85079	X
Serieel	6551		85073	X
Digitaal/A	ZN428		86312	X
Analoog/D	ADC0804		85063	X
Klok	ICM7170	april86 p75	86017	X
14Bits DAC				
Geluid				

Figuur 5-14. Aanpassing voor Elektuur Buskaarten

eerste instantie voor de Commodore 64 ontworpen. Daarnaast is er een duidelijke beschrijving voor MSX verschenen. De bus is op de 6502/CBM64 toegespitst en daarom vergt het aanpassen voor een andere CPU/computer wat geknutsel. Elke kaart moet op de gebruikte CPU worden aangepast, dus voor iedere computer een aparte variant. Geen echt universeel ontwerp dus.

In de eerste plaats moet een verloop worden verzorgd tussen de 34-polige socketkonnektor voor de mikrobus en de 21-polige elektuur-buskonnektor. De voeding moet ook aangepast worden en er moeten +12 V en -12 V aangesloten kunnen worden. Verder moeten de kontrolesignalen –Strobe en –Lees geïnverteerd worden. Ook moet met de aanpassingsschakeling gekozen worden welk kaartkeuzesignaal gebruikt gaat worden. De andere signalen kunnen worden doorverbonden zoals aangegeven.

5.18.5 Velleman-systeem

Het I/O-systeem van Velleman is oorspronkelijk voor de Sinclair ZX-serie ontworpen. De ZX81- en de ZX Spectrum-bus hebben model gestaan voor de Velleman-bus. Na verloop van tijd is men daar de stap naar 6502 gaan nemen. We gaan hier niet uitvoerig op de aanpassing in. Bij elke Velleman-kit wordt een schema geleverd. Samen met de aanwijzingen in dit boek, kan de aanpassing eenvoudig zelf worden bedacht.

5.18.6 U-Systems

Door U-systems uit Warrington U.K. is een I/O-systeem voor de Sinclair Spectrum op de markt gebracht. Dit systeem kende maar twee kaarten. Een parallelle en een seriële interface met de Z80-periferie-IC's. In oktober 1983 zijn de voorraden en de produktierechten door MicroSource te Zwolle overgenomen. Het is enige tijd onder de naam Micro-Systeem op de markt gebracht. Het Mikrosysteem is uiteindelijk het resultaat van een volledig opnieuw uitgewerkt I/O-systeem, als verbetering op het systeem van U-systems. De U-systems-kaarten laten zich als 8XXX-kaarten aansturen. De bij de kaarten geleverde boekjes en de aanwijzingen in dit boek maken het aansluiten eenvoudig.

6. Aarde en storingsonderdrukking

In dit hoofdstuk komen twee nauw verwante onderwerpen aan de orde, te weten aarde en storingsonderdrukking. Deze zijn van belang voor het goed opbouwen van een meet- en regelsysteem, of welke elektronische schakeling dan ook. Over dit onderwerp worden hier slechts de essentiële dingen verteld. Om de schakelingen uit dit boek met sukses na te bouwen is dit hoofdstuk minstens zo belangrijk als de hoofdstukken 2, 3 en 4.

6.1 Aarde

Om een goed funktionerend systeem op te bouwen is een goede benadering van de ''aarde'' een noodzaak. Dit wordt zo sterk bepaald door de totale samenstelling van een systeem dat het soms meer een kwestie van magie lijkt dan van schema's en bouwtekeningen. Toch is het mogelijk om aan de hand van enig inzicht de meeste problemen te voorkomen of op te sporen. Eerst wordt alleen aandacht besteed aan het begrip aarde. In het daarop volgende gedeelte over storing wordt ingegaan op de uitvoering van de massabedrading.

In principe is de ''aarde'' het centrale referentiepunt in een elektrisch of elektronisch systeem. In de praktijk wordt het woord aarde voor verschillende zaken gebruikt. Dat alleen al maakt het ingewikkeld.

Hier worden de volgende ''aardes'' onderscheiden:
1 Echte aarde (aarde)
2 Systeemaarde (massa)
3 Verbindingen (retour)
4 Randaarde (veiligheidsaarde)

6.1.1 Echte aarde

Een echte aarde is een punt dat vast verbonden is met de massa van de planeet aarde. Zo'n punt heeft de zogenaamde aardpotentiaal. Er bestaat geen potentiaalverschil tussen verschillende echte aardes. De verbinding tussen het aansluitpunt en de aardmassa moet zeer laagohmig zijn en voldoende vermogen kunnen verwerken. Bij voorkeur bestaat die uit een dikke koperen pin die tot in het grondwater reikt. Er kan echter ook een metalen (koperen) draad over grote afstand in het aardoppervlak ingegraven worden. Een ''echte aarde'' kan in theorie oneindig veel elektrisch vermogen verwerken zonder dat de potentiaal ten opzichte van een ander echt aardpunt verandert. We gebruiken de echte aarde onder andere voor bliksemafleiders en bij zenders en ontvangers. Gebruik de gas- of waterleiding of centrale-verwarmingsbuizen niet als echte aarde. In de eerste plaats zijn het geen goede aardes omdat de buitenleidingen in het algemeen van kunststof zijn gemaakt. Daarnaast bestaat er bij gasbuizen ontploffingsgevaar als bijvoorbeeld ten gevolge van statische ladingen een vonk overspringt. Als de waterleiding buiten van metaal is, kan en mag deze soms na toestemming van het waterleidingbedrijf als echte aarde worden gebruikt. De echte aarde kan het 'Nieuw Amsterdams Peil' van de elektronica genoemd worden. (Het NAP is de referentiehoogte voor alle hoogtemetingen in Nederland.)

6.1.2 Systeemaarde

De systeemaarde is het centrale referentiepunt van een elektronisch systeem. Daarvoor wordt vaak een centraal aansluitpunt dicht bij de 0 Volt-aansluiting van de voeding gebruikt. Alle spanningen binnen het systeem worden ten opzichte van dit punt gemeten. Dit punt kan het beste MASSA genoemd worden. Dit zou het 'maaiveld' van de elektronica kunnen heten. Het 'maaiveld' is in de bouwwereld het nulpunt van hoogtepeil voor een bepaalde bouw; dit heeft weer een hoogte ten opzichte van het NAP. Zo is het ook met de systeemaarde; deze hoeft niet identiek te zijn aan de echte aarde of aan de massa van een ander systeem. Binnen een systeem mag er echter geen potentiaalverschil tussen punten op het netwerk van massaverbindingen bestaan. In dit boek is de systeemaarde, de massa dus, altijd met 0 V of het massasymbool aangeduid.

6.1.3 De aardlijn bij verbindingen

Bij sommige kabelverbindingen noemen we een bepaalde lijn aarde. De schakelingen aan beide einden van de verbinding refereren dan aan die lijn bij het 'aanbieden' of 'zien' van spanningen via de signaalvoerende lijn(en). Vaak is het beter om dit de RETOUR te noemen, want via deze verbinding zal in veel gevallen de signaalstroom terug moeten vloeien. De massa's van schakelingen moeten bij voorkeur niet via de signaalkabels verbonden worden. Zie verder het hoofdstuk storingsonderdrukking bij verbindingen.

6.1.4 Randaarde

In moderne lichtnet-installaties is naast de bruine fasedraad en de blauwe neutrale draad een derde geel/groene draad, de randaarde, aanwezig. De randaarde wordt ook wel veiligheidsaarde genoemd en is verbonden met de echte aarde. Deze verbinding kan laagohmig zijn, maar dat hoeft niet! De waterleiding, de cv-installatie en bepaalde plaatsen in natte ruimten zijn met randaarde verbonden. Van sommige apparaten worden de aanraakbare mogelijk stroomvoerende delen, met name een metalen behuizing, met randaarde verbonden. Dit gebeurt vooral met apparaten waar water bij gebruikt wordt zoals de wasmachine, centrifuge, etc. Ook de massa van een elektronische schakeling wordt soms met randaarde verbonden. De werking van de randaarde hangt af van de opbouw van de lichtnet-installatie en de weerstand van de verbinding met de echte aarde. Als door een fout spanning op de met de randaarde verbonden delen dreigt te komen staan, zal de verbinding met de echte aarde ervoor zorgen dat er een stroom gaat lopen. Bij een installatie met een laagohmige aarde (typisch 1,6 Ω) en geen aardlekschakelaars zal een grote stroom gaan lopen, waardoor de zekering in de stoppenkast doorslaat. Bij een hoogohmige aardverbinding (typisch 160 Ω) moet een aardlekschakelaar worden gebruikt. Als er een verschil van typisch 30 mA is tussen de stroom in de fasedraad (toevoer) en de stroom door de neutrale draad (afvoer), zal de aardlekschakelaar de netspanning afkoppelen. (Zie ook 7.1, Veiligheid.)

6.1.5 Aardlussen

Een aardlus is een wat vaag begrip in de elektronica. Een goede definitie bestaat niet. Een aardlus ontstaat als het netwerk dat de massabedrading vormt lussen kent. Deze zijn het gevolg van parallelle stroompaden in het massanetwerk. Door verschillen in impedantie en belasting van delen van de lus kunnen grote onvoorziene stromen optreden. Zo'n lus kan ook magnetische storing opvangen; dit neemt met het oppervlakte van de lus toe. Een aardlus ontstaat in de praktijk vaak door meerdere verbindingen tussen de massa's van schakelingen te maken. Voor een goede werking mag en moet er tussen de diverse schakelingen binnen een elektronisch systeem maar één massaverbinding bestaan. Dit moet men ook in de gaten houden bij metingen, waarbij het meetapparaat met een door ons gekozen referentiepunt voor de meting moet kunnen worden verbonden. De systeemaarde van een meetapparaat mag dus over het algemeen niet met de randaarde van het lichtnet verbonden zijn. Daarom moet bij meetapparatuur altijd met veiligheidsklasse 2 gewerkt worden, zie veiligheid. Om dezelfde reden wordt vrijwel alle konsumenten-elektronica, met name audio- en video-apparatuur, volgens veiligheidsklasse 2 geproduceerd.

Als een aardverbinding slecht is, wordt het alleen maar erger door er een verbinding naast te leggen. Eén goede aardverbinding tussen de verschillende delen van een systeem, is de enige goede manier. Een aardlus kan worden opgespoord met een weerstandsmeter. De 'bekende' massaverbinding wordt verbroken. De verbinding tussen de massa's van de systemen moet dan verbroken zijn, anders is er nog een 'ongewenste' verbinding.

Een speciale kategorie aardlussen zijn de hoogfrekwente. Hoogfrekwente stromen volgen de weg met de minste induktieve weerstand; ze kunnen op onvoorziene wijze hun weg in een schakeling vinden. Met name als de komponenten dicht op elkaar geplaatst zijn, moet daar goed op gelet worden. Een hoogfrekwente aardlus is niet met een weerstandsmeter op te sporen.

6.1.5.1 Opto-isolatoren

Opto-isolatoren kunnen een belangrijke rol spelen bij het opbouwen van een goed werkend systeem. Als de signalen tussen de delen van een systeem via opto's worden overgedragen, hoeven er geen massaverbindingen gemaakt te worden. Dan kunnen ook geen aardlussen ontstaan. Het is een goed idee

overal opto-isolatoren te gebruiken waar het computersysteem een krachtsysteem ontmoet. Er kunnen dan twee gescheiden voedingen voor computer en krachtsysteem worden gebruikt. De gevoeligheid voor storingen van het totale systeem wordt dan verkleind omdat het systeem dan echt is opgedeeld (zie 7.2 Voeding en deel 2, opto-isolatoren).

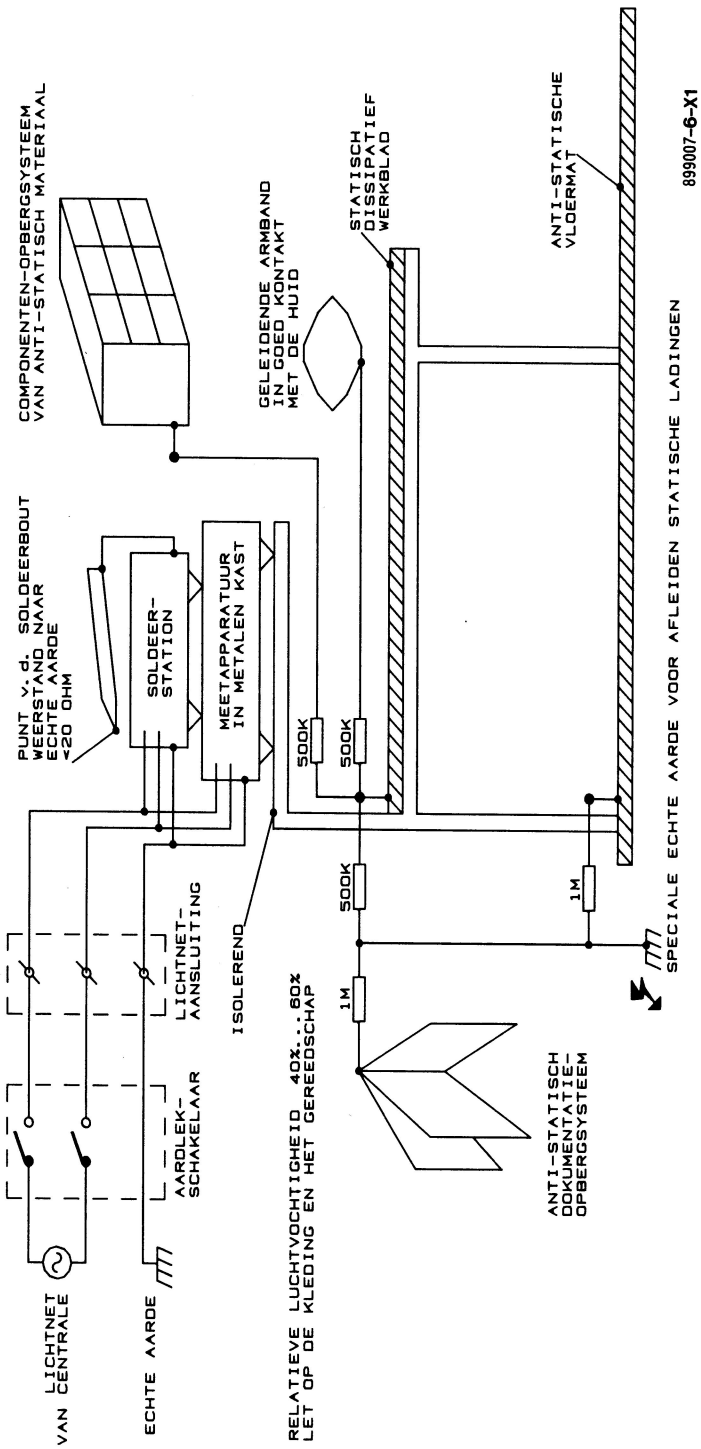
6.2 Storingsonderdrukking

Zoals eerder opgemerkt is het niet mogelijk een betrouwbaar werkend meet- en regelsysteem te bouwen zonder enig begrip te hebben van de oorzaken van storingen en mogelijkheden om die te voorkomen. Het inhoud van dit gedeelte omvat hoofdzakelijk theorie en adviezen; een storingsvrij systeem is voornamelijk een zaak van een goede opbouw. Hierbij is het motto ''voorkomen is beter dan genezen'' volkomen op zijn plaats.
Eerst worden de gevolgen van statische ladingen besproken. Daarna komen de bewegende ladingen aan bod. In het deel over storing in de schakeling komen de wijzen waarop storingen hun invloed uitoefenen ter sprake. Dezelfde theorie geldt ook voor de daarna besproken kabelverbindingen. De daar aangedragen oplossingen voor verbindingen kunnen in extreme gevallen zelfs binnen een schakeling van nut zijn. Als laatste wordt het filteren van lichtnetstoring besproken.

6.2.1 Elektrostatische ontladingen

Om een goed systeem te bouwen moeten de onderdelen goed zijn. Om dat te garanderen is enige voorzichtigheid bij de omgang met IC's geboden. Een belangrijk probleem daarbij zijn statische elektrische ladingen. IC's worden volgens de Amerikaanse Milstandaard ingedeeld in twee klassen van gevoeligheid voor statische ladingen. Klasse-A1-IC's zijn gevoelig voor statische ladingen met een potentiaal tussen 20 V en 2000 V. Deze moeten met grote zorg behandeld worden en moeten voorzien zijn van waarschuwingen op de verpakking en in de datasheets. Klasse-B2-IC's zijn gevoelig voor ladingen met een potentiaal van meer dan 2000 V; ze kunnen met de normale voorzorgen goed verwerkt worden. Er wordt bij voorkeur met klasse-B2-IC's gewerkt.
Statische elektriciteit is een elektrische lading in rust. Een elektrische lading bestaat uit een plaatselijk tekort of overvloed van elektronen. In ca. 600 v Chr. beschreven de Grieken de aantrekkingskracht op kleine stukjes materiaal van een stuk amber (barnsteen) dat met wol gewreven is. Dit effekt is met veel materialen te bereiken. Die aantrekking is het gevolg van een elektrische lading in statische toestand. Het Griekse woord voor amber is elektron, vandaar elektronica. Wrijving is niet de enige, maar wel de belangrijkste oorzaak van het ontstaan van de voor IC's schadelijke statische ladingen. Bij wrijving kunnen elektronen tussen twee voorwerpen overgedragen worden. Als dat gebeurt, ontstaat in beide voorwerpen een even grote lading met een tegengestelde polariteit. Dit heet triboelektriciteit. Tribologie is Grieks voor de techniek van loopvlakken in het algemeen, in het bijzonder de wrijvingsleer. Een statische lading kan ook ontstaan door elektronentransport binnen een voorwerp (polarisatie) of door direkte overdracht van elektronen tussen voorwerpen (konduktie). Elektrische lading wordt nooit gemaakt of vernietigd, het kan alleen overgedragen worden. Dat heet de wet van behoud van lading. Statische ladingen kunnen een potentiaal van duizenden volts ten opzichte van de echte aarde hebben. De potentiaal wordt mede bepaald door de kapaciteit tussen het geladen voorwerp en de aarde. De plaats van een voorwerp bepaalt dus ook de spanning die tussen het voorwerp en de aarde gemeten kan worden.
* Een elektrostatische ontlading is het overdragen van een elektrische lading tussen lichamen met een verschillende potentiaal. Dit kan via direkt kontakt of via induktie. De meeste IC's zijn zeer gevoelig voor dergelijke ontladingen. Met het toenemen der komplexiteit van een IC neemt deze gevoeligheid ook toe. Dus dit probleem zal in de toekomst steeds belangrijker worden. Een IC hoeft overigens niet stuk te gaan door zo'n ontlading; vaak zullen echter de prestaties van het IC aangetast worden. De gebruiker kan dan lang zoeken naar de oorzaak van een probleem.

* Om dit soort problemen helemaal te voorkomen moet een speciale werkplaats ingericht worden. Voor erg gevoelige IC's is dat zeker nodig. In principe komt het er op neer dat de IC's en hun hele omgeving voortdurend hun lading via een weerstand van ongeveer 1 MΩ aan de echte aarde kwijt kunnen. De meeste problemen kunnen voorkomen



Figuur 6-X1. Schematische voorstelling van een tegen elektrostatische lading beveiligde werkplek.

worden door een paar eisen aan de omgeving te stellen en een aantal gedragsregels in acht te nemen. Het is aan te raden deze regels tot een gewoonte te maken want alle IC's zijn min of meer gevoelig voor elektrostatische ontladingen.
* Diverse leveranciers van elektronische onderdelen verzorgen korte kursussen in het omgaan met voor statische lading gevoelige komponenten.

6.2.1.1 Materialen
Alle materialen kunnen voor wat hun eigenschappen op het ESD-gebied betreft in vier groepen onderverdeeld worden:

- Isolerend $R > 10^{14}$ (Ω/m^2)
- Anti-statisch $10^9 < R < 10^{14}$ (Ω/m^2)
- Staties-dissepatief $10^5 < R < 10^9$ (Ω/m^2)
- Geleidend $R < 10^5$ (Ω/m^2)

6.2.1.2 Bewaren van IC's
De IC's moeten in een houder van anti-statisch materiaal bewaard worden of op een stuk geleidend schuim gestoken zijn (''zwart of roze IC-schuim''). Het is een goed idee om ook nog een stuk anti-statisch schuim op de IC's te leggen. In het ideale geval moet het schuim of de houder via een weerstand van 1 MΩ met de echte aarde verbonden worden. Dit helpt nog niet tegen schade door een elektrisch veld. Daarvoor moet een IC of ander gevoelig onderdeel daarna ook nog in een geleidende houder of zak geplaatst worden. Aluminium folie is daarvoor bijvoorbeeld geschikt.

6.2.1.3 Werk omgeving
- In de direkte omgeving mogen geen isolerende materialen gebruikt worden, met name kunststoffen geven dus problemen. Let vooral op de vloerbedekking en de bekleding van meubels. Ook verf en was op meubels zoals stoelen en werkbanken kunnen gevaarlijk zijn. Een speciale vloer is voor een echt goede werkplek noodzakelijk.
- Het beste kan speciale anti-statische overkleding gedragen worden. Draag bij voorkeur gewone kleding van katoen. Handschoenen kunnen het beste niet gedragen worden.
- Een werkblad moet van statisch-dissipatief materiaal gemaakt zijn. Door wrijving mag geen lading ontstaan en de oppervlakte weerstand mag niet te groot zijn. Het werkblad moet via een weerstand van 1MΩ met een echte aarde verbonden worden.
- De relatieve luchtvochtigheid moet boven de 40% liggen.
- Er moet bij voorkeur een aparte echte aarde voor het afleiden van statische ladingen gemaakt worden. Dit kan bestaan uit een koperen pijp of pin die ongeveer 2,5 meter in de grond is geslagen. Die diepte is eigenlijk nogal afhankelijk van de plaats waarop dat gebeurt. De weerstand naar de ''echte'' aarde hoeft niet zo klein te zijn als voor een echte veiligheidsaarde of antenne aarde.
- De punt van de soldeerbout moet met de gewone ''echte'' aarde van het net verbonden worden. De weerstand met de aarde mag maximaal 20Ω zijn.

6.2.1.4 Gedragsregels
* Handelingen die ladingen opwekken moeten zoveel mogelijk voorkomen worden. Bijvoorbeeld voeten vegen, handen wrijven, op de stoel schuiven, plakband van een rol trekken, een stuk papier uit een plastic map halen, enzovoorts.
* Het aanraken van de IC's moet zoveel mogelijk beperkt worden. Als dat toch nodig is moet men de IC-pootjes niet aanraken; pak het IC aan de korte kanten beet. Houdt het IC ver van mogelijke ladingen, dus ook van de kleding. Verder moet ervoor gezorgd worden dat het mogelijke potentiaalverschil tussen de handen en het IC vereffend is voordat het IC wordt aangeraakt. Daarvoor gelden een aantal regels:
** In het ideale geval wordt de mogelijke lading van de handen afgevoerd door een punt aan te raken dat, bij voorkeur via een weerstand van 1 MΩ, met de echte aarde verbonden is.
** Bij het aangeven van een IC moet men elkaar eerst de hand geven, daarna pas het IC overhandigen.
** Als een IC van een vlak gepakt wordt, eerst het vlak aanraken daarna het IC oppakken. Dit geldt dus ook voor het isolerende schuim waarop de IC's verpakt worden, en voor de werkbank.

6.2.2 Storing binnen de schakeling
Het spreekt vanzelf dat elke deelschakeling goed moet werken voordat het volledige systeem kan funktioneren. Een goed werkende schakeling komt voort uit een goed schema dat met goede onderdelen volgens een goed bedradingsplan netjes is nagebouwd.

De problemen die samenhangen met de keuze van de onderdelen worden hier niet verder besproken. Let goed op elektrostatische ontladingen als met IC's wordt omgegaan. Oefen ook geen grote krachten op een onderdeel uit; de negatieve gevolgen daarvan kunnen pas veel later duidelijk worden. Een effekt dat soms belangrijk is, is de fotogevoeligheid van halfgeleidermateriaal. Vooral dioden en door statische lading aangetaste EPROM's kunnen daar last van hebben. Slechte soldeerverbindingen kunnen ook problemen veroorzaken die niet altijd direkt te herkennen zijn, ook niet met een weerstandmeter. Een ander probleem kan het optreden van ongewenste thermokoppels zijn.
Als dat allemaal voor elkaar is kunnen nog steeds problemen optreden die niet terug te voeren zijn op het ontwerp. Deze zijn vaak het gevolg van een slechte aard-, signaal- of voedingsbedrading. Voor het goed funktioneren van gevoelige schakelingen is de opzet van de bedrading van het totale systeem van groot belang. Om dat met sukses uit te voeren is enige theoretische kennis noodzakelijk.
Storingen die vanuit de omgeving op de schakeling inwerken zijn ook een belangrijke oorzaak van problemen. Als de zaak op de elektronische werkbank goed werkt, hoeft dat in de uiteindelijke werkomgeving door allerlei storende invloeden niet zo te zijn. Voor deze externe storingen gelden grotendeels dezelfde theorie en oplossingen als voor de storingen door interne beïnvloeding. Een goed gebouwde schakeling geeft intern geen storing en is behoorlijk ongevoelig voor storing van buitenaf.

De hierna besproken oorzaken van storing hebben allemaal te maken met bewegende elektronen. Ladingen in beweging dus, dit in tegenstelling tot de hiervoor besproken statische ladingen. Deze storingen zijn vaak het gevolg van een krachtige en/of snelle spannings- of stroomverandering in de buurt. Wat de oorzaak van de stoorpulsen ook is, de volgende twee kenmerken hebben ze alle gemeenschappelijk.

- De kinetische energie van een stoorpuls

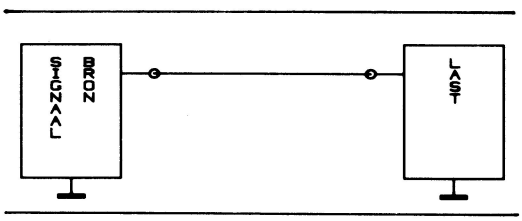
De totale hoeveelheid energie van een stoorpuls is gelijk aan de gemiddelde effektieve spanning x gemiddelde effektieve stroom x tijd. Dit wordt uitgedrukt in Joule of Ws. Het is duidelijk dat er een grens is aan de hoeveelheid energie die een bepaald systeem op een bepaalde plaats kan verwerken. Als de kinetische energie van een storing daarboven komt zal de schakeling niet meer goed funktioneren of defekt raken. In veel gevallen zal de maximale top-topspanning ook van belang zijn.

- De flanksteilheid van een stoorpuls

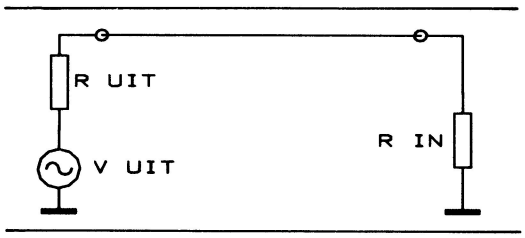
De stijg- en daaltijd van de flanken worden uitgedrukt in de verandering van de spanning per tijdseenheid: dV/dT in V/s. Een stoorpuls met steile flanken heeft veel hoogfrekwente energie in zich (Fourier-analyse). Deze energie heeft de neiging om allerlei onvoorziene paden te kiezen.

Een eenvoudige circuit-analyse is een aardige manier om de oorzaken van storingen en de maatregelen ertegen te bespreken. Een stel vuistregels vormt het eindresultaat van deze beschouwing. In deze tekst worden de drie belangrijkste wetten van de elektronica aangehaald. Zie de appendix voor een korte samenvatting van de wet van Ohm, de wetten van Kirchhoff en het theorema van Thévenin.

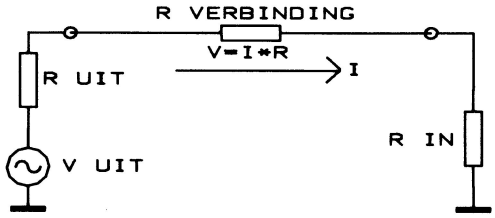
Figuur 6-1 geeft de meest algemene voorstelling weer van het gekozen voorbeeld van een signaalbron en een belasting. Dit zou een sensor met een A/D-omzetter kunnen zijn. Daaronder (6-2) is het vergelijkingsschema volgens het theorema van Thévenin getekend. De signaalbron bestaat uit een spanningsbron V_{uit} en een inwendige weerstand R_{uit}. De spanningsbron kan een gelijkspanning of



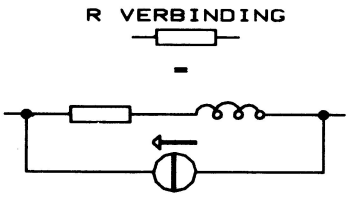
Figuur 6-1.



Figuur 6-2.



Figuur 6-3.

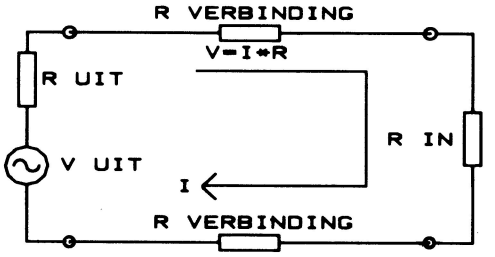


Figuur 6-4.

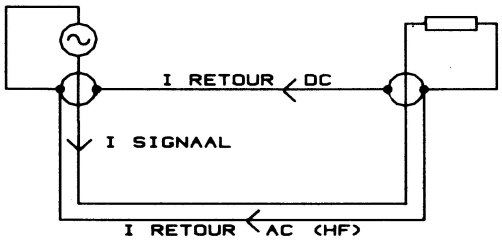
wisselspanning genereren. Als het een stroombron is verloopt alles geheel anders. De belasting bestaat uit een inwendige weerstand, R_{in}. Door dit vervangschema in het vervolg te gebruiken zullen de voorbeelden duidelijker te volgen zijn.

Daarna wordt de wet van Ohm op deze verbinding toegepast. Aangezien de verbinding tussen de twee circuits nooit uit een ideale geleider bestaat zal er enige weerstand aanwezig zijn. Als er een stroom door een verbinding vloeit, zal er dus een spanningsval over de weerstand die de verbinding vormt ontstaan, V = I*R. De weerstand van een printspoor van 5 cm lengte, 0,25 mm breed en 0,025 mm dik is 75 mΩ. Als een signaalbron met een uitgangsspanning van 10 V_{tt} via zo'n printspoor op een 16-bits A/D-omzetter met een ingangsimpedantie van 5 kΩ wordt aangesloten, ontstaat al een fout van één LSB. Een oplossing zou het verhogen van de ingangsimpedantie zijn, maar dat vergert een verderop besproken probleem, de kapacitieve koppeling van storingen. De eenvoudigste oplossing is natuurlijk het zo klein mogelijk houden van de verbindingsweerstand. Maar er kan ook direkt achter de signaalbron een (buffer-)versterker met vier verbindingen met de belasting geplaatst worden. Twee daarvan heten Sense en Referenc̦e; dit wordt besproken in boek 2 bij de instrumentatieversterker.

De schakeling van figuur 6-3 laat nog steeds de werkelijkheid niet zien. De regels van Kirchhoff zeggen dat de som van alle stromen in een punt nul is. Er wordt geen uitzondering voor de massapunten gemaakt! De stroom stopt niet plotseling bij massa, dit zou in tegenstelling zijn met de wet van behoud van lading. Elke stroom loopt in een lus en gaat terug naar de bron. Daarom is figuur 6-4 een betere benadering van de werkelijkheid. Uiteraard bestaat de verbinding tussen de twee massa's weer niet uit perfekt geleidend materiaal, dus ontstaat een spanningsval. De wet van Ohm moet ook hier weer gebruikt worden om deze stoorspanning uit te rekenen. Zie figuur 6-4. In de werkelijkheid zullen de verbindingen er echter overigens meer zoals in figuur 6-5 uit zien. De verbinding is ook nog induktief en er zal al gauw sprake zijn van een extra storende stroombron.



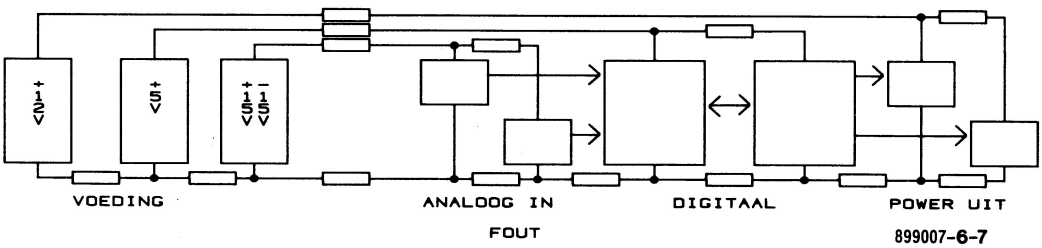
Figuur 6-5.



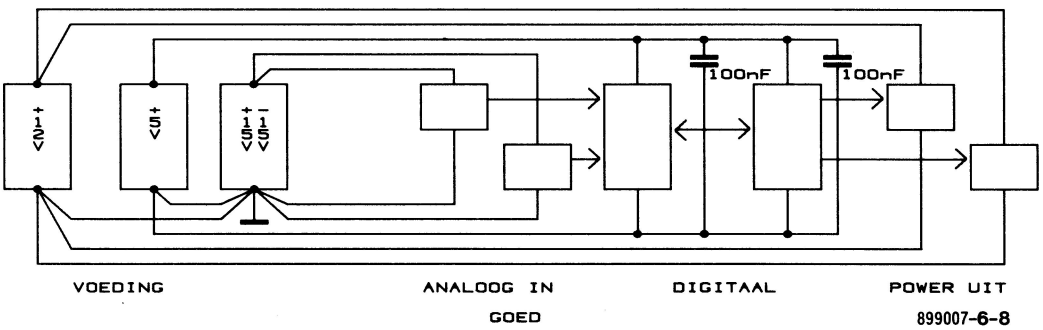
Figuur 6-6.

Daar komt nog bij dat de retourstroom lang niet altijd de door ons gekozen weg zal nemen. Dit is met name het geval bij hogere frekwenties. In figuur 6-6 zijn een spanningsbron, een belasting, een koaxiale kabel met een verbinding tussen de uiteinden van de mantel getekend. Als de retourstroom vergeten wordt, zien we alleen maar een spanningsbron die via de signaallijn aangesloten is op een belastingsweerstand, zoals bij figuur 6-2. De retourstroom zal hier echter een speciaal fenomeen te zien geven. Bij een gelijkspanning zal de retourstroom grotendeels door de extra verbinding tussen de uiteinden van de mantel vloeien; dit is de weg met de minste weerstand. Bij toenemende frekwentie zal de retourstroom door de mantel gaan vloeien. Dit is de weg met de minste induktie, want deze weg omsluit de kleinste oppervlakte.

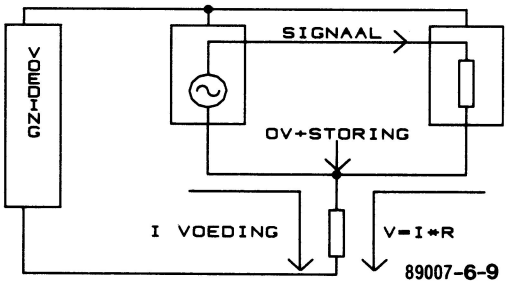
6.2.2.1 Konduktief gekoppelde storing
Zonder de extra storende invloeden van de induktie- en stoor-stroombron, kan de weerstand van een massaverbinding al problemen genoeg veroorzaken. Figuur 6-7 laat een systeem zien met een uitgang, die zwaar belast wordt en een ingang voor gevoelige analoge signalen. De drie delen van het systeem worden apart gevoed. Als de voeding bedraad wordt zoals in deze figuur, zullen de weerstanden die de massalijn vormen storingen veroorzaken. Daarom moet een bedrading zoals in figuur 6-8 toegepast worden. Elk van de drie delen wordt apart gevoed, bovendien wordt er een centraal massapunt toegepast. Dit heet om voor de hand liggende redenen een sterbedrading. Daarbij gaat van elke analoge schakeling een aparte massadraad naar het gemeenschappelijke massapunt. De digitale schakelingen kunnen via een gemeenschappelijke massadraad met de voeding verbonden worden, geen ster dus. De voeding moet dan wel bij de IC's ontkoppeld worden met bijvoorbeeld een multilayer-kondensator van 100 nF. De drie massapunten worden met een goed geleidende draad verbonden, dus een korte dikke koperdraad. Het massapunt van de voeding van de gevoeligste elektronica is het uiteindelijke centrale punt in de massabedrading. Als de massa met de echte aarde moet worden verbonden, moet dat ook met een goede geleider vanuit dit punt gebeuren.



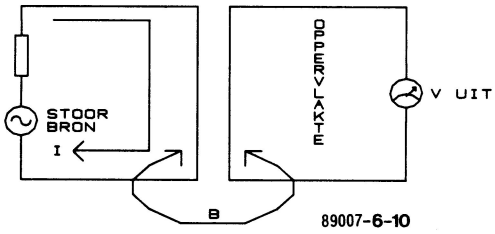
Figuur 6-7.



Figuur 6-8.



Figuur 6-9.



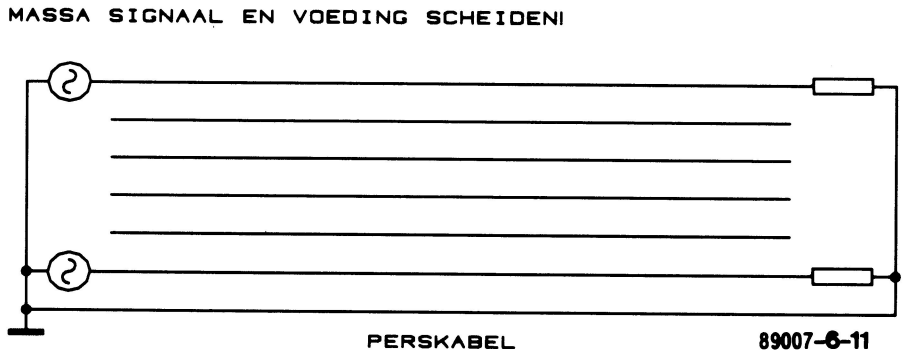
Figuur 6-10.

Bij het overdragen van signalen moet ook goed op gemeenschappelijke massaweerstanden gelet worden. In veel gevallen wordt de massaverbinding met de voeding ook als retourpad voor het signaal gebruikt. De stroom die door de schakeling gebruikt loopt via de massaverbinding en zal daar een spanningsval veroorzaken. Het signaal dat over de belasting gezien wordt, wordt dus ook beïnvloed door de voedingsstroom.

Het is duidelijk waarom dit soort storing konduktief gekoppeld heet; een gemeenschappelijke weerstand vormt immers de koppeling.

6.2.2.2 Induktief gekoppelde storingen
Zoals eerder opgemerkt loopt volgens Kirchhoff elke stroom in een gesloten lus. Deze lussen vormen een spoel, waarmee induktief gekoppelde (magnetische) storing wordt opgevangen. Bijvoorbeeld: een voedingstrafo zorgt voor een stevig magnetisch veld, dat zich goed laat oppikken. Figuur 6-10 toont het principe van magnetische koppeling. Een stroom in circuit A veroorzaakt een magnetisch veld B. In circuit C wordt nu een stroom opgewekt, volgens het principe van een transformator. De stroomsterkte in circuit C is afhankelijk van een groot aantal faktoren, namelijk: de frekwentie van de stoorbron, de gemeenschappelijke induktie, de dichtheid van de magnetische flux B, de stoorstroom I en het oppervlak van de ontvangende lus. De beste manier om induktieve koppeling te voorkomen is het klein houden van de oppervlakte van de lus. Dit is wat de stroom uit zichzelf toch ook al wil omdat de induktie dan minimaal is.

Dit geldt ook voor bandkabels. Laten we de Mikrosysteem-buskabel eens bekijken. Daarbij is een kompromis gekozen tussen maximale lengte en aantal draden. Ook is de plaats van de signalen ten opzichte van de aarde op een bepaalde manier gekozen. De lus die door de massadraad en databit 7 wordt gevormd is de kleinste, de lus van mas-

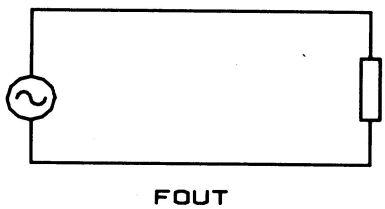


Figuur 6-11.

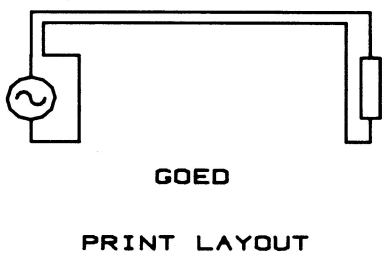
sa en klok het grootst. De klok is daardoor veel gevoeliger voor het oppikken van storingen dan databit 7, wat de beste situatie is. Het voorschrift dat de kabel maximaal 60 cm lang mag zijn is een duidelijke beperking van de maximale oppervlakte van de grootste lus. Als de kabel langer moet zijn, moet de oppervlakte van de lus op andere wijze beperkt worden. Er worden dan twee keer zoveel draden gebruikt. Naast elke signaallijn moet dan een massalijn (retour) lopen die samen met de signaallijn een zo klein mogelijke lus vormt.

Ook voor het ontwerpen van printen heeft dit belangrijke gevolgen. Figuur 6-12 laat een foute routing zien, figuur 6-13 een goede routing. Het is duidelijk dat in het tweede geval door het signaal een veel kleinere oppervlakte omsloten wordt.

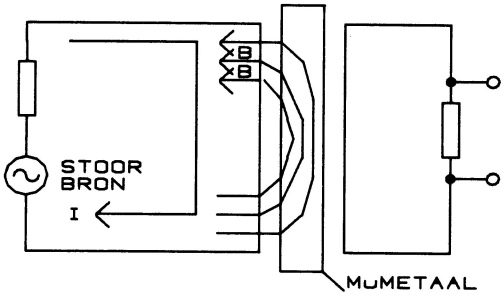
Storingen door magnetische velden kunnen met een afscherming tegengehouden worden. Daarvoor wordt een magnetiseerbaar materiaal met een hoge permeabiliteit genomen, met name mu-metaal. De magnetische veldlijnen zullen door de afscherming gaan lopen omdat ze de weg van de minste (magnetische) weerstand nemen. Een afscherming tegen



Figuur 6-12.



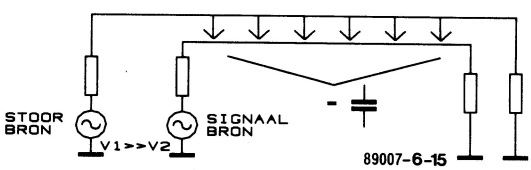
Figuur 6-13.



Figuur 6-14.

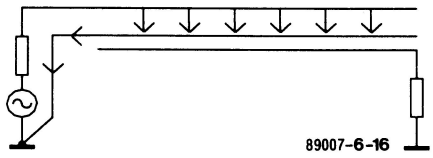
magnetische storing moet niet met massa verbonden worden. Mu-metaal is moeilijk te bewerken en meestal geen dagelijks gebruikt materiaal. De hiervoor genoemde maatregel van de kleinste door de stroom omsloten oppervlakte moet dan ook eerst zijn toegepast voordat tot een magnetische afscherming wordt overgegaan.

6.2.2.3 Kapacitief gekoppelde storing
Na de konduktieve storingskoppeling binnen een circuit bestaat de belangrijkste bron van storingen uit het kapacitief koppelen van stoorsignalen op het signaalpad. Dit is ook vaak de weg waarlangs externe storingen binnenkomen. Het woord kapacitief komt van kapaciteit, de eigenschap van een kondensator. Twee geleiders die door een isolator of het vakuüm gescheiden zijn, vormen in theorie een kondensator. Twee parallel lopende draden vormen samen, afhankelijk van de lengte van het parallelle stuk en de afstand tussen de draden, een prima kondensator. Als in één draad een signaal loopt met een relatief sterke spanningsverandering ten opzichte van het signaal in de andere draad, zal het zwakkere signaal sterk beïnvloed worden. Dit is een situatie die veel op printen voorkomt.

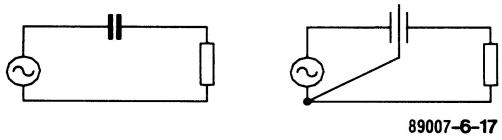


Figuur 6-15.

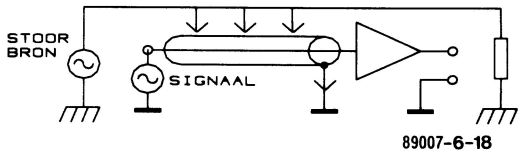
Een kapacitief gekoppelde storing kan worden voorgesteld als in figuur 6-15. De storing bestaat uit een (wissel-) spanningsbron waarvan de uitgangsspanning een relatief grote variatie ten opzichte van het gestoorde signaal laat zien. De overdracht van de storing vindt plaats via een kapacitieve koppeling, voorgesteld door de kondensator. De stroomlus wordt gesloten via de belastingsweerstand, waar de storing als een spanning over te zien is. Deze storingen zijn op te heffen door het elektrische veld met een metalen plaat op te vangen en naar de bron terug te geleiden. Zie figuur 6-16. Een voorbeeld van een afleiding van de storing is het tussen twee signaalvoerende printbanen aanbrengen van een printbaan die met de massa is verbonden. Een aardvlak op de achterkant van een print heeft ook de neiging om dit soort storing te absorberen. De afscherming bij verbindingen funktioneert ook zo. Het is niet altijd mogelijk om de storing naar de bron terug te geleiden. De afscherming moet dan met de plaatselijke massa verbonden worden.



Figuur 6-16



Figuur 6-17



Figuur 6-18.

Kapacitieve koppeling is ook van belang bij isolatie-transformatoren. Ook al is gezorgd voor voldoende gelijkstroom-isolatie tussen de windingen, door kapacitieve koppeling tussen de windingen kunnen common-modespanningen nog heel gevaarlijk zijn.

Vooral punten met een hoge impedantie of lijnen tussen zulke punten zijn gevoelig voor kapacitieve koppeling van stoorsignalen. In het voorbeeld zijn de uitgangsimpedantie en de ingangsimpedantie van belang. Aangezien kapacitief gekoppelde storing veel voorkomt, is dat één van de redenen om de impedanties in een circuit niet te hoog te kiezen.

6.2.2.4 Elektromagnetisch gekoppelde storingen

Elektromagnetische storing kan alleen over een afstand groter dan de golflengte overgedragen worden. Dit in tegenstelling tot de drie hiervoor genoemde wijzen van koppeling van storingen. Voor 50 Hz is dat 6000 km en voor 60 Hz is dat 5000 km; het is dus niet aannemelijk dat er problemen ontstaan door elektromagnetische storing vanuit een voeding. Voor hogere frekwenties neemt de afstand af. Golflengte (λ) in m = lichtsnelheid (c) $\div$ frekwentie (f): $\lambda = 3 \cdot 10^8/f$ (f in Hz). Golflengten van een paar meter zijn heel gewoon; 27 MHz $\approx$ 11 m. De kans op storing is dan dus wel degelijk aanwezig. Elke geleider langer dan 1/20 keer de golflengte kan als antenne optreden. Verder is het zo dat elk circuit dat energie op een bepaalde frekwentie uit kan stralen, ook energie op die frekwentie kan ontvangen. Een apparaat dat vonken veroorzaakte werd door Hertz als eerste zender gebruikt. Elk apparaat dat vonken veroorzaakt moet als een zender moet worden beschouwd. Een lasapparaat is een typisch voorbeeld en een bekende storingsbron.
Om elektromagnetische velden buiten de deur te houden moeten rigoureuze maatregelen worden genomen. De schakeling moet in een gesloten metalen behuizing worden geplaatst. De mantel van de signaalkabels moet elektrisch en mechanisch goed aan de behuizing vastgemaakt worden. Er mogen geen 'lekken' optreden. Dit geheel moet met de echte aarde verbonden worden. Als de kabel, dus ook de mantel, langer is dan 1/20 golflengte moeten er extra maatregelen worden genomen.

Een elektromagnetische puls (EMP) is een tot de verbeelding sprekende door de natuur of door de mens veroorzaakte sterke elektromagnetische storing. Bekend is het optreden van een EMP bij een nukleaire ontploffing. Ook onweer en een lasapparaat zijn een bron van EMP. Als een EMP veel energie heeft bestaat de kans dat een elektronische schakeling door de opgevangen energie wordt beschadigd. Door over de hele schakeling beveiligingen tegen spanningspieken op te nemen, kan een dergelijke spanningspuls in de schakeling verwerkt worden. Dit kan bijvoorbeeld met zenerdioden. Het bouwen van schakelingen die EMP-vast zijn, is een specialiteit op zich. Voor gewone elektronica is het zelden nodig om hier aandacht aan te besteden.

6.2.2.5 Samenvatting

- Konduktieve koppeling

– Als een signaal overgedragen wordt, loopt er een stroom. Deze stroom loopt altijd in een lus en komt weer bij de bron terug. Er loopt dus een stroom van bron naar belasting en een stroom van belasting naar bron. In veel gevallen wordt de massaverbinding als retourlijn genomen. Zie de regels van Kirchhoff.
– De weg die de retourstroom echt neemt, is de weg met de minste weerstand en/of induktie.
– Let op de spanningsvallen die de weerstanden van alle verbindingen veroorzaken. Houd dus de lengte, de weerstand, van alle bedrading zo kort mogelijk. Zie de wet van Ohm.
– Zorg dat de massastromen van de diverse delen van het systeem (de retourstromen) elkaar niet beïnvloeden.
– Houd altijd de massabedrading van de voeding en de signalen gescheiden.
– Houd de voeding en de massabedrading van het digitale
systeem, de gevoelige analoge elektronica en de vermogenselektronica gescheiden.

- Induktieve koppeling

– Stroomlussen kunnen magnetische velden oppikken. Beperk daarom het oppervlak van elke stroomlus in het systeem.
– Magnetische velden zoals bijvoorbeeld rondom transformatoren kun laten zich tegenhouden door een afscherming van mu-metaal. Als het magnetische veld erg sterk is kan er nòg een laag van gewoon metaal of mu-metaal omheen worden gedaan. Dat voorkomt verzadiging van de tweede mu-metaallaag.
– Stoorsignalen met een hoge frekwentie en een ten opzichte van het signaal grote stroomsterkte, veroorzaken al gauw magnetisch gekoppelde storingen.

- Kapacitieve koppeling

– Als een storing beïnvloed wordt door het benaderen met de hand of een ander niet magnetiseerbaar voorwerp, is het waarschijnlijk een probleem ten gevolge van kapacitieve koppeling.
– Storingen door kapacitieve koppeling kunnen worden voorkomen door draden bij elkaar uit de buurt te houden of door met de aarde verbonden metalen vlakken tussen de signaallijnen (printsporen) aan te brengen.
– Punten met een hoge impedantie en signaallijnen tussen dergelijke punten zijn gevoelig voor storingen door kapacitieve koppeling.
– Metalen vlakken die elektrisch zweven kunnen de oorzaak zijn van kapacitief gekoppelde storing. Verbind zo'n vlak altijd op één punt met de 'massa' van de bron van de storing.
– Stoorsignalen met een snelle en relatief grote spanningsvariatie ten opzichte van het signaal beïnvloeden het signaal al gauw via kapacitieve koppeling. Dit hangt dus samen met de dV/dT.

- Elektromagnetische koppeling

– Elektromagnetische storingen hebben pas invloed op een afstand groter dan de golflengte, ($\lambda = 3 \cdot 10^8/f$). Een geleider funktioneert als antenne als de lengte groter is dan 1/20 x de golflengte.
– Elektromagnetische instraling kan afgeschermd worden door de schakeling te omgeven met een geleidende kooi die met de echte aarde is verbonden, een zogenaamde kooi van Faraday.
– Zenders en andere krachtige hoogfrekwent-apparatuur (vonken!) zijn vaak de oorzaak van elektromagnetisch gekoppelde storing.
– Als een circuit op een bepaalde frekwentie energie kan uitstralen, kan het ook op die frekwentie energie ontvangen. En omgekeerd.

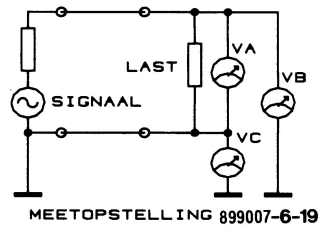
6.2.3 Storing vanuit verbindingen

Storingen vanuit verbindingen zoals kabels

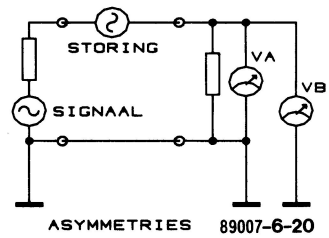
en konnektoren zijn lastig; ze kunnen optreden nadat het systeem al geruime tijd goed werkt. Bij verbindingen bestaan twee soorten problemen.
* De konnektor maakt geen goede verbinding
* De verbinding pikt onderweg storing op
* Konnektoren zijn onderhevig aan slijtage en oxydatie van de pinnen. Als een konnektor altijd op zijn plaats zit krijgt oxydatie kans. Als hij regelmatig losgenomen wordt zal slijtage vooral het probleem zijn. Konnektoren met een laagje goud op de pinnen zijn veel beter bestand tegen oxydatie. Bij een kabel zijn de soldeerverbindingen tussen kabel en konnektor heel belangrijk. Krimpkous om de soldeerpunten zorgt voor isolatie en versteviging.
* Bij het oppikken van storingen onderweg wordt enig onderscheid gemaakt tussen digitale en analoge signaallijnen. Eerst worden de drie belangrijke principes voor het storingvrij overbrengen van analoge signalen besproken. Deze zijn ook van belang voor de digitale signalen die daarna aan bod komen. Voor digitale signalen bestaan nog andere mogelijkheden om storing te voorkomen.

6.2.3.1 Analoge signalen
De beste remedie tegen storing op analoge signalen bestaat uit het vergroten van de signaal/ruisafstand. Dit kan door het signaal zo dicht mogelijk bij de bron te versterken. Daarnaast bestaan nog enige mogelijkheden om een signaalverbinding tegen invloed van storingen te beschermen. De hier besproken drie mogelijkheden kunnen worden gekombineerd voor een optimale storingsonderdrukking.
In sommige gevallen zal een filter de storing kunnen verminderen. Vaak zal dat een hoog-af-filter zijn, bij het onderdrukken van 50 Hz-brom kan ook een laag-af-filter zijn nut bewijzen. Hoewel een filter nuttig kan zijn voor het terugdringen van storing op het signaal, treden er bij deze oplossing al gauw beperkingen op. De vereiste bandbreedte van het systeem kan bijvoorbeeld problemen geven. Het is altijd beter om storingen door middel van een goede verbinding te voorkomen, dan ze achteraf met filters weg te werken. Daarnaast is het ook altijd aan te raden om het frekwentiebereik van een systeem zoveel mogelijk te beperken tot het gewenste bereik. In boek 2 wordt enige aandacht aan filters besteed.

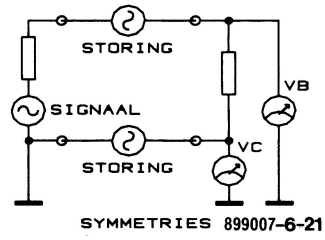
• Symmetrische en asymmetrische storing
Hoewel het onderscheid tussen een symmetrische en een asymmetrische storing overal speelt, is dat bij verbindingen heel belangrijk. Als voorbeeld is een verbinding met twee signaaldraden genomen. Daarvan wordt één draad de signaaldraad genoemd en de andere draad de retourdraad. Het signaal bestaat uit een potentiaalverschil tussen de beide draden. De signaalbron en de belasting gebruiken dezelfde massa als voedingsreferentie. Deze massaverbinding hoeft niet via de signaalkabel te lopen en neemt in principe geen deel aan de signaaloverdracht.



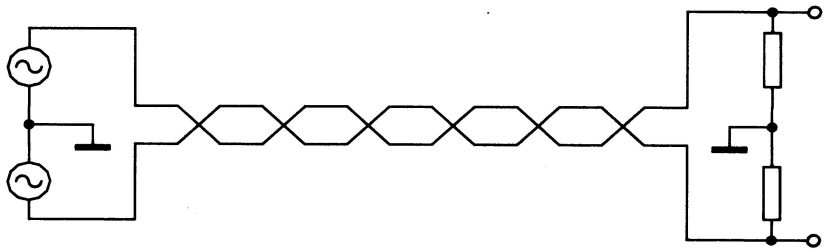
Figuur 6-19. Meetopstelling



Figuur 6-20. Symmetrische storing



Figuur 6-21. Asymmetrische storing



Figuur 6-22. Een symmetrische verbinding

Een symmetrische storing veroorzaakt een potentiaalverandering van het meetpunt en van het referentiepunt ten opzichte van de echte aarde. In het voorbeeld zal een symmetrische storing zowel op de signaaldraad als de retourdraad ten opzichte van de massa voorkomen. Met een voltmeter over de belastingsweerstand (Va) is zo'n storing niet te zien. Met een voltmeter tussen de signaaldraad en de massa (Vb) of één tussen de retourdraad en de massa (Vc) kan dit wel gemeten worden.
Een asymmetrische storing veroorzaakt een potentiaalverandering van het meetpunt ten opzichte van het referentiepunt en dus ook ten opzichte van de echte aarde. In het voorbeeld zal zo'n stoorpuls alleen op de signaalvoerende draad te zien zijn. Het is te meten met een voltmeter tussen de signaaldraad en de retourdraad (Va) en met een voltmeter tussen signaal en massa (Vc). De eindkonklusie is:
* Signalen bestaan vaak uit een potentiaalverschil tussen twee draden.
* Storingen kunnen op één draad of op beide draden gelijk inwerken.

• Symmetrische en asymmetrische verbindingen
Het is mogelijk om een signaal zo over te dragen dat symmetrische storingen weinig of geen invloed hebben. Daarbij wordt gezorgd dat het signaalpad en het pad voor de retourstroom precies dezelfde eigenschappen hebben. Zo'n verbinding heet een symmetrische verbinding of gebalanceerde lijn; dit in tegenstelling tot een ongebalanceerde lijn of asymmetrische verbinding. Er wordt gebruik gemaakt van de mogelijkheid om een symmetrische storing en het signaal bij de belasting weer uit elkaar te halen. Een verbinding waarbij de signaallijn en de retourlijn niet dezelfde eigenschappen hebben, zal een storende invloed in het algemeen omzetten in een asymmetrische storing. Zo'n storing kan niet eenvoudig van het signaal worden onderscheiden. In bepaalde gevallen zou het met digitale signaalbewerking kunnen.

Om te beginnen wordt gezorgd dat de signaalbron twee uitgaande signalen levert die precies dezelfde eigenschappen hebben. De spanningen zijn even groot maar tegengesteld ten opzichte van massa.
De verbinding bestaat uit twee signaaldraden met precies dezelfde eigenschappen; ook de isolatie moet gelijksoortig zijn. Bij voorkeur is dit een gedraaide draad om de symmetrie zo goed mogelijk te behouden. Het gebruik van een afscherming tegen kapacitief en/of magnetisch gekoppelde storing kan de storingsonderdrukking nog verder verbeteren.
De belasting bestaat ook uit een schakeling die beide lijnen symmetrisch afsluit. Tegenwoordig is dat vaak een instrumentatieversterker. Vroeger werden vooral transformatoren gebruikt. Een transformator heeft de eigenschap dat hoogfrekwente signalen tegen worden gehouden. Aangezien storingen vaak hoogfrekwent en signalen vaak relatief laagfrekwent zijn, heeft dat wel eens voordelen. Een eigenschap van een instrumentatieversterker is dat de "common mode rejection ratio" afneemt bij hogere frekwenties. De cmrr staat voor de mate waarin een op beide ingangen voorkomende spanning onderdrukt aan de uitgang verschijnt. Dat is dus een nadeel want dat is de eigenschap van de instru-

mentatieversterker die we hier juist gebruiken. Dit wordt zo nodig opgelost met filters. Bij een symmetrische verbinding moet wel opgepast worden dat de potentiaal van de beide draden ten opzichte van de massa, de zogenaamde common-mode-spanning, niet te groot wordt. Anders gaat de ingangsbuffer stuk. Als de common-mode-spanning heel groot is of als de massa's van de schakelingen aan beide einden van de lijn niet verbonden mogen worden, kan een isolatieversterker als ingang worden gebruikt.

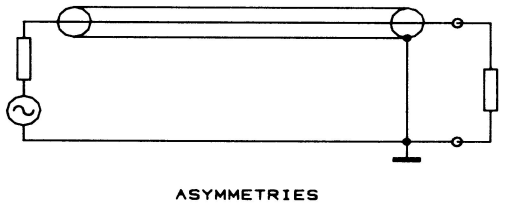
- Afscherming

Een signaallijn wordt vaak afgeschermd tegen kapacitieve koppeling van storingen. Bekend is het gebruik van zo'n afscherming bij audio- en videokabels. De afscherming wordt slechts aan één kant met massa verbonden (6-23). Dit gebeurt zó dat de stoorstroom zo goed mogelijk naar de bron teruggeleid wordt. De mantel wordt nooit als massaverbinding of retour gebruikt. Voor nog betere storingsonderdrukking kan die afscherming apart aangestuurd worden zodat er geen potentiaalverschil is met de signaalvoerende draad. Bij symmetrische lijnen wordt de potentiaal van de mantel gelijkgemaakt aan de common-mode-spanning. Sommige instrumentatieversterkers hebben daarvoor een speciale uitgang, deze heet "guard" (zie figuur 6-24).

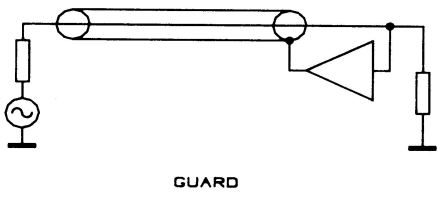
De normale afscherming van kabels is niet bedoeld om magnetische velden tegen te houden. Voor magnetische afscherming moet om de mantel tegen kapacitieve storing nog een extra mantel van materiaal met een lage permeabiliteit zoals ijzer om de kabel aangebracht worden. Zo'n afscherming wordt niet met massa verbonden.

- Gedraaide kabel (twisted wire)

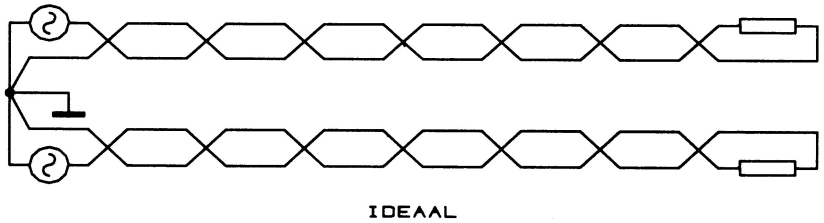
Als voor de signaalverbinding een gedraaide kabel wordt gebruikt kan de invloed van storingen ook aardig gedempt worden. Dit is een eenvoudige en goedkope manier van storingsonderdrukking bij verbindingen! Voor elke signaalverbinding wordt ook een retourlijn gebruikt. Deze retourlijn wordt samen met de signaallijn gedraaid. Het belangrijkste nut van een gedraaide kabel is dat de eigenschappen van beide lijnen gelijk zijn. Zodoende wordt de symmetrie van een verbinding gehandhaafd. Let er dus op dat de beide draden van de kabel precies dezelfde eigenschappen moeten hebben, ook dezelfde isolatie! Een symmetrische (common mode) storing wordt zo niet in een asymmetrisch stoorsignaal omgezet. Daarnaast zorgt een gedraaide draad ervoor dat een zo klein mogelijk oppervlak door de stroom wordt omsloten. Zo wordt induktieve (magnetische) koppeling van storingen beperkt. Door de slagen zal de invloed van het magnetische veld zichzelf ook nog



Figuur 6-23.



Figuur 6-24.



Figuur 6-25.

eens opheffen. De onderdrukking van induktieve storing neemt toe met het aantal slagen per meter. Enige tientallen slagen per meter is prima.

6.2.3.2 Digitale signalen
Voor het overbrengen van digitale signalen in een storende omgeving bestaan andere oplossingen dan voor het overbrengen van analoge signalen.
* De bekendste manier om digitale signalen storingsvrij over te brengen bestaat uit het gebruik van opto-isolatoren, om twee redenen:
1) Het signaal wordt niet als een spanning maar als een stroom overgedragen.
2) De massa van signaalbron en belasting hoeven niet verbonden te worden.

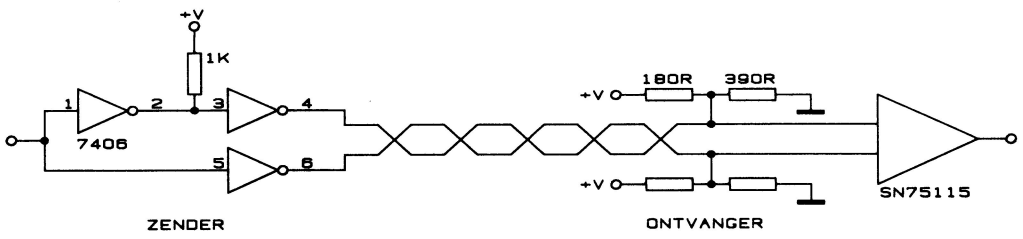
* Een open-kollektoruitgang met aan het eind van de lijn een weerstand naar +V en een relatief grote weerstand naar massa, zal behoorlijk goed tegen storingen bestand zijn.

* Ook voor digitale signalen kan met groot voordeel een zogenaamde gedraaide draad (twisted wire) gebruikt worden.

* Er bestaat een speciale vorm van de 'gebalanceerde lijn' voor digitale signalen. Per signaal worden twee aktieve lijnen gebruikt die altijd het tegengestelde logische niveau hebben. Dit kan met een simpele inverter bereikt worden. Aan de ontvangerzijde kan een als verschilversterker geschakelde opamp gebruikt worden. Deze maakt van die twee signalen weer een logisch signaal voor één lijn. Er bestaan ook speciale IC's om een digitale lijn gebalanceerd uit te voeren. De SN75113 bevat twee zenders, de SN75115 twee ontvangers. Dit vertoont dus wel enige overeenkomst met een analoge symmetrische verbinding, maar is er niet gelijk aan. Een digitale gebalanceerde lijn moet net als bij analoge signalen voor optimale prestatie ook met gedraaide draad en eventueel een mantel tegen kapacitieve storingen aangelegd worden.

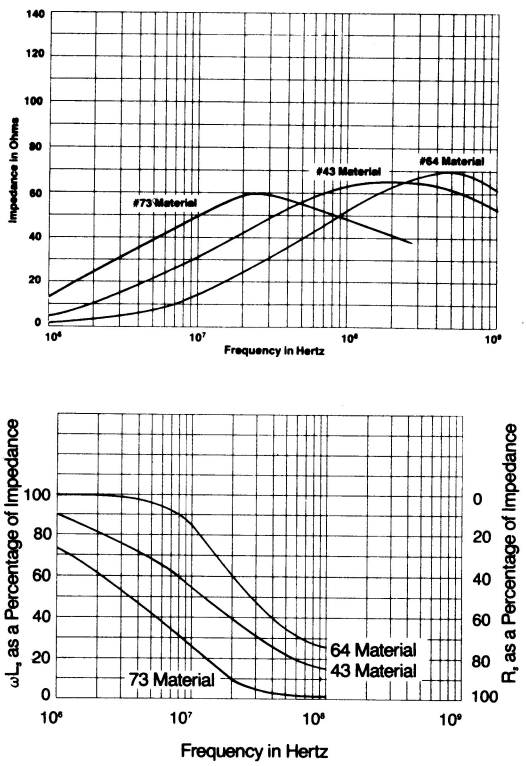
6.2.3.3 Ferrietringen
Ferrietringen kunnen een grote bijdrage leveren aan het onderdrukken van hoogfrekwente storingen op verbindingen en voedingsleidingen. Eerst worden de eigenschappen van een ferrietring besproken, daarna de toepassing.

• De eigenschappen van een ferrietring
Ferriet is een zwart materiaal dat bestaat uit samengeperste deeltjes van gemodificeerd ijzer. Er worden ook wel andere metalen gebruikt zoals nikkel-zink. De weerstand is vaak zeer hoog, 10^8 Ω/cm of meer, maar kan ook slechts 100 Ω/cm bedragen. Bij ferrietmateriaal voor ontstoring ligt de nadruk op de impedantie en niet op de Q-faktor zoals bij hoogfrekwente ferrietmaterialen. De impedantie van een ferrietring is bij lage frekwenties zeer laag en neemt met de frekwentie toe. Bij de wat grotere ferrietringen waar de draad gewoon doorheen loopt zijn dat typische waarden in de orde van 1 Ω tot 10 Ω bij 1 MHz en 50 Ω tot 250 Ω bij frekwenties tussen 10 MHz en 100 MHz. Dit is ondermeer afhankelijk van de soort ferriet en het volume. Met één winding loopt de impedantie al gauw op tot 500 Ω bij 100 MHz. De impedantie is ook afhankelijk van de temperatuur. Deze neemt toe tot een optimaal punt, typisch ergens tussen 60°C en 120°C, om daarna snel af te nemen.
Op grafieken is de impedantie van een ferrietring als funktie van de frekwentie uitgezet. In figuur 6-27 zijn de eigenschappen van een typische ferrietring van een paar verschillende soorten ferriet afgebeeld.

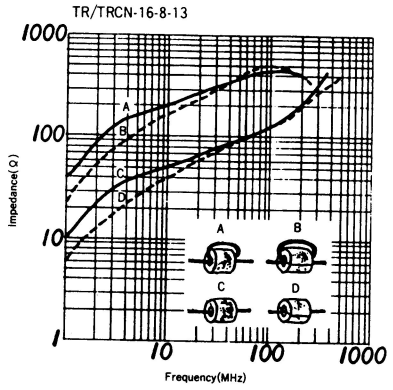


Figuur 6-26.

In figuur 6-28 zijn verschillende dingen te zien. In de eerste plaats laten de doorgetrokken lijnen A en C het verschil zien tussen één winding en geen winding om een ferrietring uit één stuk. De streeplijnen B en D laten hetzelfde verschil zien bij een ferrietring uit twee delen.



Figuur 6-27.



Figuur 6-28.

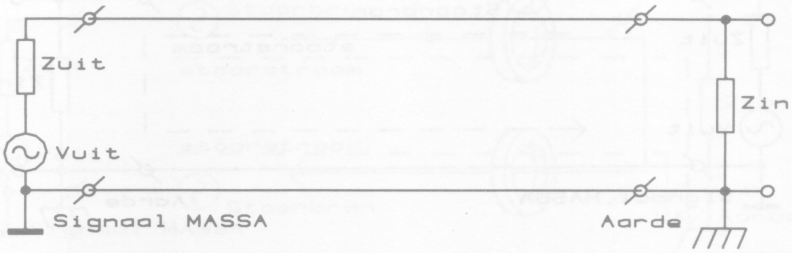
Als de draad om de ring wordt gewonden, neemt de impedantie over het hele frekwentiegebied toe. Bij hoge frekwenties zal verzadiging optreden, zoals aan de grafiek te zien is.
Het splitsen van de ring in twee delen heeft in de eerste plaats het voordeel dat de ring ook om reeds aangelegde of van konnektors voorziene draden kan worden gelegd. Daar komt bij dat een grote gelijkstroom door de draad niet zo gauw verzadiging van een ring in twee delen zal veroorzaken. De impedantie van een gedeelde ring is bij lage frekwenties iets minder, maar boven 20 à 30 MHz is er praktisch geen verschil met een ring uit één stuk.

- Het toepassen van ferrietringen

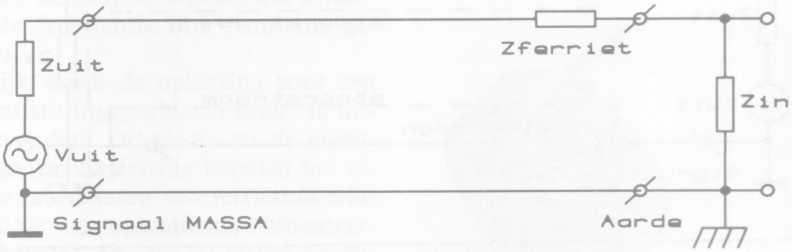
Een storing op een lijn zal een induktiestroom in de ferrietring opwekken, de ferrietring zal de warmte ten gevolge van die stroom dissiperen. De ring moet zo groot zijn dat hij niet verzadigd raakt. Aangezien de impedantie met de frekwentie toeneemt, vormt een ferrietring een hoog-af-filter. Dat is een gunstige eigenschap, want storingen bestaan vaak voor een groot deel uit hoogfrekwente energie en bijvoorbeeld de 50 Hz van het lichtnet wordt niet merkbaar gedempt.
De demping die een ferrietring veroorzaakt kan berekend worden. Dat zal in de praktijk niet gauw gebeuren, maar het geeft wel inzicht in de toepassing. De demping hangt af van de uitgangsimpedantie en de ingangsimpedantie van de beide einden van de lijn en van de impedantie van de ferrietring (zie figuur 6-29 en 6-30).

Demping (dB) = 20 log ((Zuit + Zferriet + Zin) / (Zuit + Zin)).

De demping is dus sterk afhankelijk van de impedanties van de schakeling. Aangezien de impedantie van een ferrietring frekwentieafhankelijk is, is de demping ook afhankelijk van de frekwentie van het stoorsignaal. Omdat de impedantie van een ferrietring normaal niet boven 1000 Ω uitkomt (vaak maximaal 500 Ω), zal een ferrietring het beste werken bij schakelingen met een lage impedantie (Zuit + Zin). Bij schakelingen met een hoge impedantie kan de impedantie van de ferrietring verhoogd worden door de lijn vaker om de ring te winden of door een ring te gebruiken die door een groter volume een grotere impedantie heeft.



Figuur 6-29.



Figuur 6-30.

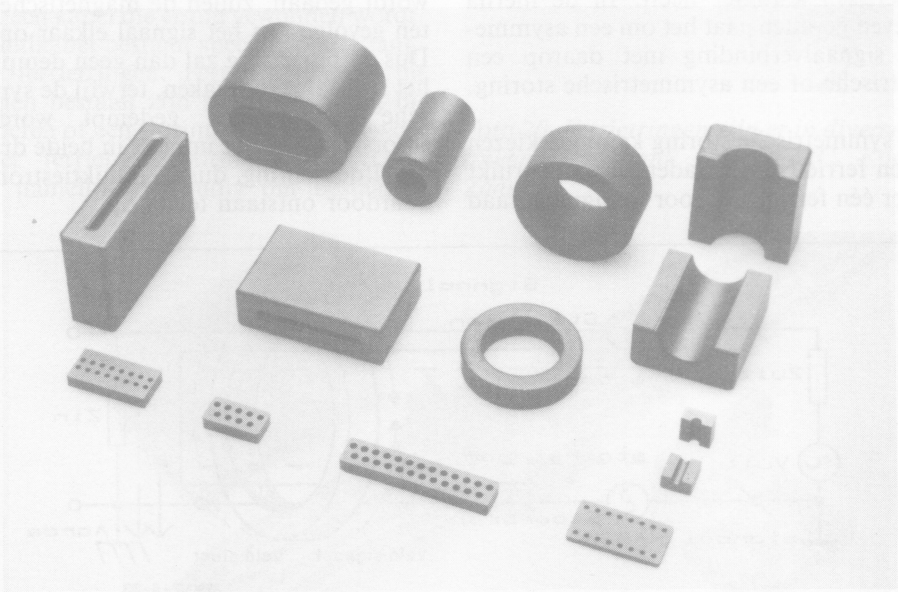
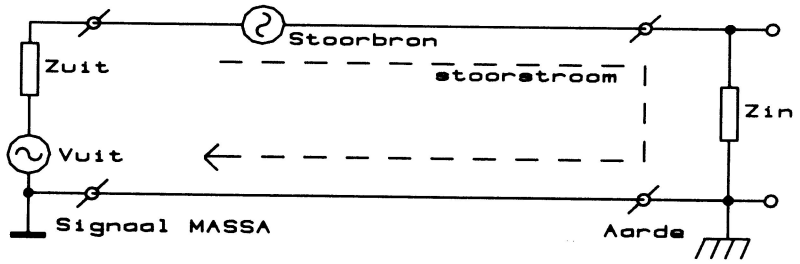
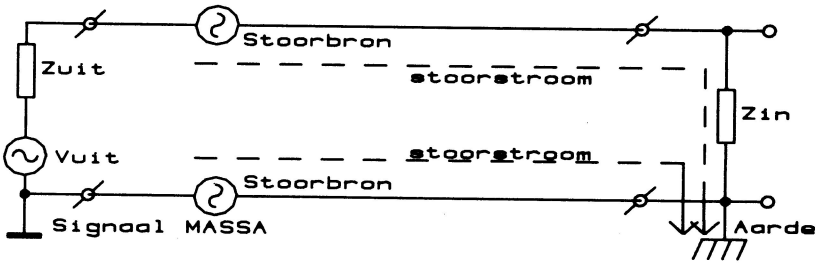


Foto 18. Ferrietmateriaal voor toepassing in uiteenlopende situaties (met dank aan EEMC, Koog a/d Zaan).



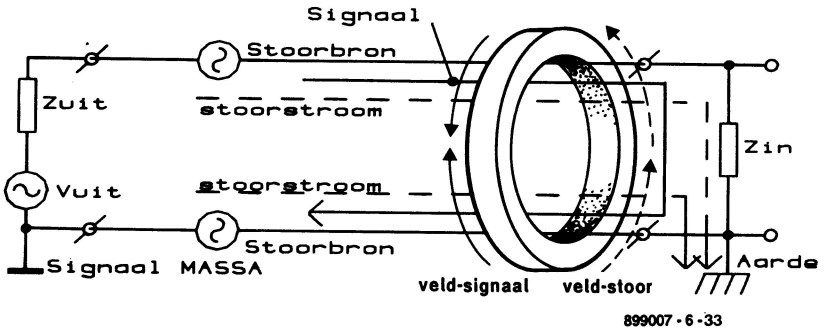
Figuur 6-31. Asymmetrische storing



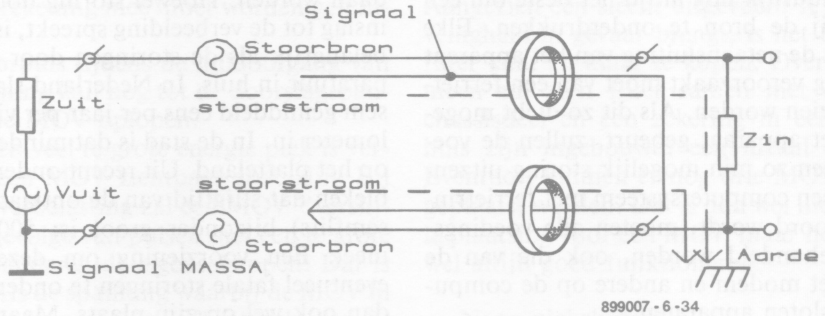
Figuur 6-32. Symmetrische storing

Bij de toepassing van ferrietringen maakt het uit of de storing een symmetrisch of een asymmetrisch karakter heeft. In de hierna beschreven gevallen gaat het om een asymmetrische signaalverbinding met daarop een symmetrische of een asymmetrische storing.

Bij een symmetrische storing kan men kiezen of er één ferrietring per ader wordt gebruikt of dat er één ferrietring voor de signaaldraad en de signaal-retourdraad wordt gebruikt. Als er één ring om de beide signaaldraden wordt gedaan, zullen de magnetische velden ten gevolge van het signaal elkaar opheffen. Dus de ferrietring zal dan geen demping van het signaal veroorzaken, terwijl de symmetrische storing wel gedempt wordt. De stoorstroom vloeit immers in beide draden in dezelfde richting, dus de induktiestromen die daardoor ontstaan tellen op.



Figuur 6-33. De magnetische velden t.g.v. de symmetrische storing heffen elkaar op.



Figuur 6-34. Bij gebruik van twee ferrietringen zal ook het signaal iets verzwakt worden.

Bij een asymmetrische storing kan om deze reden alleen maar met één ring per ader gewerkt worden, waarbij het signaal dus afhankelijk van de frekwentie ook enigszins gedempt wordt.
In de praktijk wordt de oplossing voor een hoogfrekwent storingsprobleem vaak via uitproberen gevonden. De plaats en de eigenschappen van een ferrietring bepalen het effekt. Diverse fabrikanten van ferrietmaterialen leveren daarvoor speciale experimenteerdozen (zie foto 18). Daarin zit ferrietmateriaal van verschillende vormen. Er bestaan langwerpige ferrietringen die om een kabel geschoven kunnen worden; de pasvorm is mede bepalend voor het resultaat. De dikke ferrietringen kunnen het beste gebruikt worden met een kabel die er om gewonden wordt. Voor bandkabel bestaan speciale platte langwerpige ferrietringen. Ferrietringen die uit twee delen bestaan zijn speciaal handig bij het proberen of een storing opgelost kan worden met ferriet-ontstoormaterialen. Deze kunnen namelijk eenvoudig om bestaande draden of om kabels met konnektoren geplaatst worden.

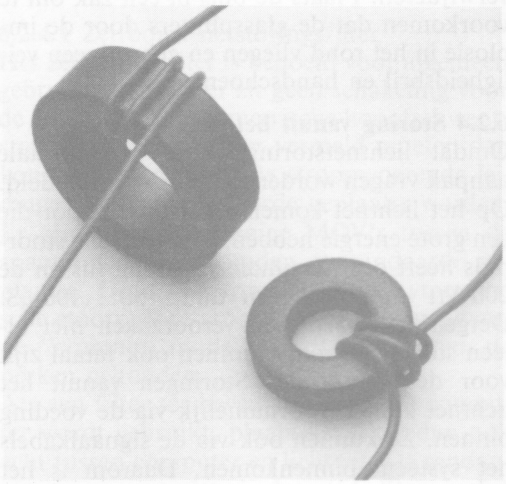


Foto 20. Ferrietringen zijn er in diverse afmetingen (met dank aan EEMC, Koog a/d Zaan).

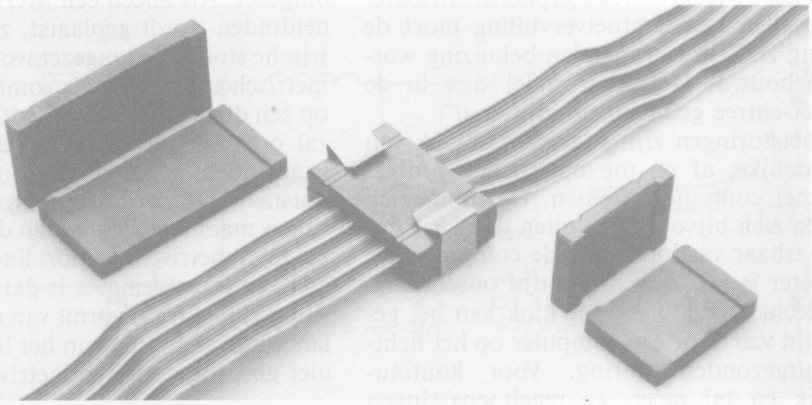


Foto 19. Speciale ferrietringen voor bandkabel (met dank aan EEMC, Koog a/d Zaan)

Het is natuurlijk nog altijd het beste om een storing bij de bron te onderdrukken. Elke draad van de netaansluiting van het apparaat dat storing veroorzaakt moet van een ferrietring voorzien worden. Als dit zo dicht mogelijk bij het apparaat gebeurt, zullen de voedingsdraden zo min mogelijk storing uitzenden. Als een computersysteem met ferrietringen ontstoord wordt, moeten alle voedingsdraden behandeld worden, ook die van de printer, het modem en andere op de computer aangesloten apparaten.
Om heel sterke stoorpulsen te onderdrukken kan men de ferrietringen van de afbuigspoelen van een TV-beeldbuis goed gebruiken. Wees voorzichtig als de beeldbuis stuk gemaakt moet worden om de afbuigspoelen te verwijderen. Plaats de buis in een zak om te voorkomen dat de glassplinters door de implosie in het rond vliegen en gebruik een veiligheidsbril en handschoenen.

6.2.4 Storing vanuit het lichtnet

Omdat lichtnetstoringen om een speciale aanpak vragen worden deze apart behandeld. Op het lichtnet komen stoorpulsen voor die een grote energie hebben. Een typische stoorpuls heeft een maximale spanning tussen de 200 Vtt en 800 Vtt en duurt 50...100 μS. Dergelijke stoorpulsen veroorzaken niet alleen storingen, maar kunnen ook fataal zijn voor de apparatuur. Storingen vanuit het lichtnet komen voornamelijk via de voeding binnen. Ze kunnen ook via de signaalkabels het systeem binnenkomen. Daarom is het zaak deze storingen zo vroeg mogelijk op te heffen. Bij het stopkontakt dus en voordat de netsnoeren bij de signaaldraden in de buurt komen. Hiervoor moet een filter tussen lichtnet en het systeem worden geplaatst. In extreme gevallen van lichtnetvervuiling moet de voeding zelfs in een metalen behuizing worden gebouwd. Het filter moet dan in de lichtnet-entree geïntegreerd zijn.
Lichtnetstoringen zijn vaak de oorzaak van onduidelijke, af en toe optredende problemen met computersystemen. De problemen kunnen zich bijvoorbeeld uiten door het onverklaarbaar vastlopen van de computer. De computer is zelf ook niet altijd onschuldig. Een slecht lopende digitale klok kan het gevolg zijn van door een computer op het lichtnet uitgezonden storing. Voor kontinugebruik en bij meet- en regeltoepassingen moet dan ook zeker iets aan deze fouten gedaan worden. Hoewel storing door bliksem-inslag tot de verbeelding spreekt, is dit niet zo belangrijk als de storingen door allerlei apparatuur in huis. In Nederland slaat de bliksem gemiddeld eens per jaar per vierkante kilometer in. In de stad is dat minder vaak dan op het platteland. Uit recent onderzoek is gebleken dat stijgtijd van de ontlaadpuls (bliksemflits) bijzonder groot is: 500 kA/μs en meer. Een voorziening om deze toch wel eventueel fatale storingen te onderdrukken is dan ook wel op zijn plaats. Maar de storingen die in huis veroorzaakt worden door de koelkast, cv-ketel, boormachines, fotokopieermachines etc. zijn bepaald niet mis. Voor serieus werk met een computer is een netfilter een vereiste. Een netfilter houdt overigens óók het uitstralen van storingen vanuit de computer tegen! Bij het gebruik van een computer en proportionele triacregelingen moet in ieder geval een netfilter worden gebruikt.
Verderop wordt een zelfbouw-netfilter beschreven. In het volgende worden eerst de onderdelen besproken die in netfilters voorkomen.

– Metaaloxide-varistoren (MOV)

De bekendste storingsonderdrukkers zijn de metaaloxide-varistoren; deze worden vooral gebruikt om storingen met hoge energie te dempen. Dit zijn niet-lineaire weerstanden van halfgeleidermateriaal. Ze gaan geleiden als de spanning boven een bepaalde waarde komt. Voor het Europese lichtnet van 220 Veff nominaal worden MOV's gebruikt die bij 250 Veff (≈350 Vdc) gaan geleiden.

De energie van de stoorpuls wordt in warmte omgezet. Als alleen een MOV tussen de twee netdraden wordt geplaatst, zal een asymmetrische stoorpuls omgezet worden in een symmetrische. De stoorpuls komt dan eerst alleen op één draad voor. Als de MOV gaat geleiden zal ook een stroom door de andere draad gaan lopen, zodat daarin ook een stoorpuls ontstaat. De zo ontstane symmetrische storing is maar iets kleiner dan de oorspronkelijke asymmetrische. Voor lineaire voedingen met een transformator is dat een uitstekende situatie. Een trafo vormt van nature een gebalanceerde afsluiting van het lichtnet en is dus niet gevoelig voor symmetrische storing.

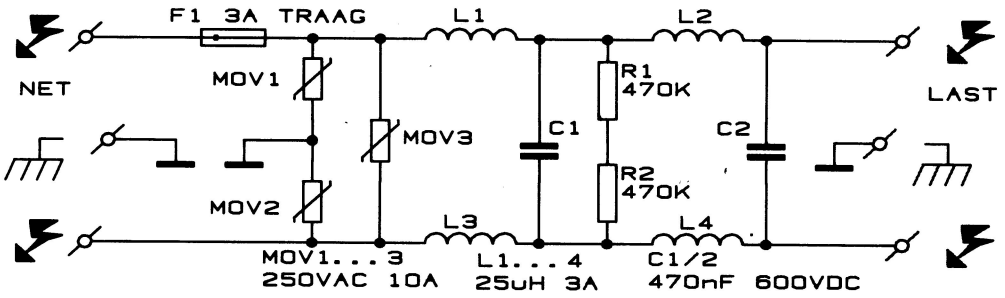
Een MOV heeft een aantal eigenschappen

waar goed rekening mee moet worden gehouden.
1) Een stoorpuls tijdens de nuldoorgang van de netspanning kan nog tot de doorslagspanning van de MOV oplopen.
2) Als er een veel te grote energie piek is verwerkt zal een MOV zichtbaar stuk zijn. Bij beperkte overbelasting zal een MOV "verslijten". Ten gevolge van pulsen met een te grote energie veranderen de eigenschappen. Dat is te meten. Als de spanning waarbij de MOV in werking treedt meer dan 10% afwijkt van de opgegeven waarde, moet de MOV vervangen worden. Het is te laat als men merkt dat het netfilter niet werkt! MOV's zijn in diverse uitvoeringen en vermogens leverbaar. Het vermogen dat de MOV moet kunnen verwerken, moet op de toepassing aangepast worden. Dat kan berekend worden, zie bijvoorbeeld het MOV databoek van Harris/General Electric.

– Spoelen en kondensatoren
Andere bekende elementen van een netfilter zijn de spoelen en kondensatoren die samen een hoog-af-filter vormen. Hiermee wordt hoogfrekwente storing gedempt. Het is een goed idee om zo'n filter achter een MOV te plaatsen. De MOV zal namelijk zelf t.g.v. zijn schakelgedrag, enige hoogfrekwente storing veroorzaken. De transformator van een lineaire voeding werkt ook als hoogfrekwentfilter. Om symmetrische storingen te dempen moeten kondensatoren naar de randaarde geplaatst worden. Dit heet een XY-schakeling. Deze kondensatoren moeten een kleine kapaciteit en grote doorslagspanning hebben. Aangezien een slecht uitgevoerd XY-filter de veiligheid in gevaar brengt, is het beter zo'n filter kant en klaar te kopen. Over het algemeen zal zo'n filter samen met een eurochassisdeel en een zekering in een metalen huis zijn ingebouwd: een ideaal netentree. Eventueel kunnen er nog drie MOV's achter geplaatst worden. Dat is dan wel niet de ideale plaatsing voor een MOV, maar het zal vrijwel altijd goed funktioneren.

– Neon pieksluiters
Gasgevulde piek-kortsluiters, zogenaamde surge arresters, kunnen beter niet met een digitaal systeem gebruikt worden. De vonk die ontstaat bij doorslag, veroorzaakt op zich weer veel hoogfrekwente storing.

6.2.4.1 Zelfbouw-netstoringsfilter
Het zelfbouw-filter is bedoeld voor algemeen gebruik. In dit filter zit geen schakeling voor de demping van symmetrische hoogfrekwentstoringen. Zoals eerder vermeld moeten dan kondensatoren vanaf de stroomvoerende leidingen naar de randaarde geplaatst worden. Er zijn echter wel enige MOV's tussen de spanningvoerende draden en randaarde geplaatst. Deze voorkomen dat de symmetrische stoorpuls te groot wordt, de zogenaamde "common mode" wordt dus binnen de perken gehouden.
Als een filter ter beveiliging van een computer wordt gebruikt, plaats het filter dan ook echt tussen computer en lichtnet. De randapparaten mogen niet via datzelfde filter op het lichtnet worden aangesloten! Anders zal de door hun veroorzaakte storing nog de com-



Figuur 6-35. Ontstoringsfilter voor zelfbouw

puter bereiken. Voor de randapparaten moet dan een apart filter worden gebruikt, anders kunnen storingen via de datalijnen in de computer komen.

In het ontstoringsfilter komen de volgende onderdelen voor;
1) Drie MOV's tegen symmetrische en asymmetrische hoge energie-storing. Hun weerstandswaarde zal na het overschrijden van de doorslagspanning, typisch binnen 25 ns van 1 MΩ naar ca. 1 Ω gaan. Let er bij de keuze van de MOV op dat het lichtnet normaal een topspanning van 310 Vdc heeft.
2) Enige spoelen en kondensatoren die asymmetrische hoogfrekwente storingen dempen. Deze werken samen als een hoog-af-filter dat de lage 50 Hz-lichtnet-frekwentie wel en de hoogfrekwente storingen niet doorlaat.
3) Twee weerstanden van elk 470 k om de kondensatoren te ontladen als de spanning afgeschakeld is. Dit is een beveiliging van de gebruiker tegen schokken.
4) Een trage zekering, waarvan de waarde bepaald wordt door de gebruikte onderdelen, kompleteert de schakeling. Met name de spoel moet de maximale stroom door kunnen laten.

Opm. Om storingen vanuit het lichtnet te dempen kunnen ook ferrietringen gebruikt worden. Zie daarvoor 6.2.3.3.

7. Energievoorziening

7.1 Veiligheid

De veiligheid is een belangrijke faktor bij een elektrisch systeem. De eenvoudigste beveiliging bestaat uit het beperken van de spanningen en/of stromen die kunnen optreden. Voor een mens zijn spanningen onder 42 V niet gevaarlijk, voor de meeste dieren is de grens 24 V of lager. Stromen kleiner dan 20 mA kan de mens onbeperkt verdragen. Sterkere stromen kunnen afhankelijk van de weg door het lichaam, de tijdsduur en het inkasseringsvermogen van de getroffen persoon gevaarlijk zijn. Aangezien de voeding het punt is waar een schakeling met het 220 V-lichtnet wordt verbonden, is dat de plaats waar een groot deel van de veiligheid wordt bepaald. Ook op andere plaatsen waar het systeem het lichtnet ontmoet, zoals bij een triacregeling, is de veiligheid van groot belang.
Volgens de NEN-norm 3544 zijn er twee manieren waarop men veiligheid bij een elektrisch apparaat kan bereiken:
Veiligheidsklasse I (enkel geïsoleerd) en
Veiligheidsklasse II (dubbel geïsoleerd)

– Veiligheidsklasse I maakt gebruik van de aktieve beveiliging die de randaarde van het lichtnet biedt. De massa van de schakeling wordt evenals alle aanraakbare, mogelijk bij storingen spanningvoerende delen, met een speciaal daarvoor aangebrachte leiding in het lichtnet verbonden. Deze leiding is met de "echte aarde" verbonden. Als door een fout spanning op de behuizing of massa komt te staan zal er een grote stroom naar de echte aarde gaan lopen. Deze stroom zal de smeltzekering in de meterkast door laten smelten; hierdoor wordt de spanning uitgeschakeld. Deze beveiliging is vooral bedoeld als bescherming tegen defekten van apparaten en is dus niet effektief als bijvoorbeeld een persoon de fasedraad aanraakt. Daarvoor wordt een aardlekschakelaar gebruikt, zie verderop. Voor een klasse I-apparaat worden ook eisen aan de mechanische uitvoering gesteld. De afstand tussen de delen die met het lichtnet zijn verbonden ten opzichte van de rest van de schakeling, behuizing en andere aanraakbare delen, moet minstens 3 mm bedragen. De isolatie moet een testspanning van 2120 Vtt kunnen weerstaan. De isolatie tussen de beide lichtnetpolen moet 3 mm en 1410 Vtt zijn. Deze schakelingen moeten een standaard-steker voor randaarde gebruiken. Metalen apparatuur en apparatuur, die met water of in natte ruimten worden gebruikt, worden bij voorkeur volgens klasse I gebouwd.
Bij een schakeling die door middel van randaarde is beveiligd, wordt de systeemaarde van de schakeling dus met de randaarde van het lichtnet verbonden. Daardoor ontstaat de situatie dat er gauw aardlussen kunnen optreden als meerdere apparaten ook nog via signaalvoerende lijnen verbonden worden. Met name voor meetsystemen is dat geen goede situatie. Binnen het Mikrosysteem wordt daarom bij voorkeur niet volgens klasse I gewerkt

– Veiligheidsklasse II maakt gebruik van de passieve veiligheid, die wordt bereikt door strengere uitvoeringsnormen voor de schakeling en voor sommige van de gebruikte onderdelen. De delen die met het lichtnet zijn verbonden moeten 6 mm van de rest van de schakeling en de behuizing verwijderd zijn. De isolatie-testspanning is 4240 Vtt. De af-

KEMA keur

VDE (Duits)

Dubbel geisoleerd

Figuur 7-XI.

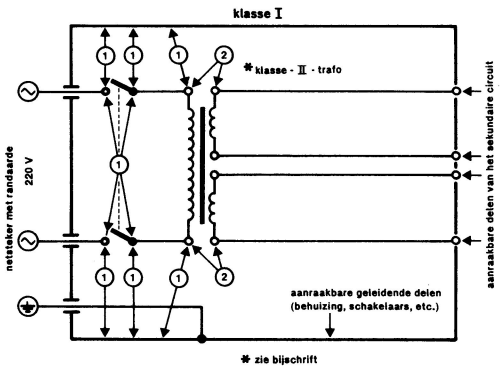
stand tussen de beide lichtnetaders mag nog steeds 3 mm zijn en de isolatie 1410 Vtt. Voor trafo's moet een zogenaamde veiligheidstransformator worden gebruikt. Klasse II heet ook wel dubbel geïsoleerd. Deze schakelingen moeten van een platte eurosteker worden voorzien. Apparaten die volgens veiligheidsklasse II zijn opgebouwd, voeren vaak het daarvoor bestemde teken van twee koncentrische vierkanten. Het gebruik van een aardlekschakelaar zorgt ook voor veiligheid bij het gebruik van klasse II-apparatuur, zie verderop.

Voor apparatuur die alleen op een wisselspanning aangesloten mag worden moet het wisselspanningssymbool (~) er ook bij staan.
Op elk apparaat moet ook de identiteit vermeld worden, bijvoorbeeld "Mikrosysteem netvoeding +8 V/1,5A".
Bij de aankoop van onderdelen moet onderscheid gemaakt worden tussen een spanningsaanduiding of KEMA- en VDE-keur. Een spanningsaanduiding zegt niet meer dan dat het onderdeel die spanning kan doorstaan. Een tuimelschakelaar met aanduiding 250 V

Veiligheidsklasse	Vtt test	Ruimte	Opmerkingen
I. Randaarde	2120 V	3 mm	Randaarde-steker
II. Dubbel geïsoleerd	4240 V	6 mm	Platte euro-steker
Tussen de polen van lichtnet in beide gevallen 3 mm en 1410 V			
Klasse I: systeemaarde met randaarde van lichtnet verbinden Klasse II: systeemaarde is gescheiden van randaarde lichtnet			

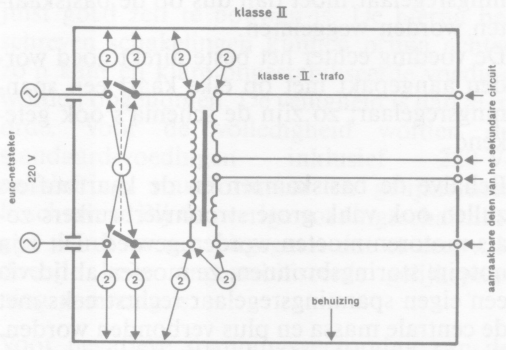
Daarnaast worden voor beide klassen nog enige eisen aan het apparaat gesteld. In de eerste plaats moet elk apparaat dat meer dan 10 W verbruikt, voorzien zijn van een dubbelpolige netschakelaar. Bij gebruik van een trafo met gescheiden primaire en sekundaire wikkelingen mag dat enkelpolig zijn. De smeltzekering en een ontstoringsschakeling mogen tussen het lichtnet en de netschakelaar voorkomen. De draden moeten minstens 0,75 mm² zijn en een isolatie van 0,4 mm hebben! Alle draden die netspanning voeren moeten goed bevestigd zijn. Een bij een verbindingspunt losgeraakte draad mag geen gevaar opleveren. Gebruik krimpkous voor het afwerken van de 220 V-bedrading! Alle onderdelen, met name de transformator, moeten goed bevestigd zijn. Het apparaat moet een val van 5 cm hoogte meerdere keren kunnen doorstaan. Verder moet gelet worden op de warmte-ontwikkeling en het mogelijke brandgevaar. Door de eventuele ventilatiegaten mag geen kontakt met spanningvoerende delen gemaakt kunnen worden. Volgens de norm zijn de volgende opschriften voor een apparaat dat uit het net gevoed wordt verplicht:
Bij elke zekering, ook op de print, moet de stroomwaarde en het type, snel (F) of traag (T), vermeld worden.
Bij de netentree, vaak achter op het apparaat, moet de netspanning en de frekwentie staan.

is lang niet altijd geschikt omdat de lucht- en kruipwegen ook nog 3 mm of meer moeten zijn. Een KEMA- (Nederlands) of VDE- (Duits) keurmerk zegt dat het onderdeel geschikt is om veilig met het lichtnet te gebruiken.



Figuur 7-X2. Een klasse I-toestel dat via een dubbel geïsoleerde transformator wordt gevoed. Alle aanraakbare en geleidende delen moeten worden geaard. De uitgangen hoeven in dit geval niet te worden geaard. De vereiste isolatie is met (1) en (2) voor resp. klasse I en II aangegeven.

– Aardlekschakelaar
Het is sinds 1975 in Nederland verplicht om een aardlekschakelaar op te nemen in de groepen, die stroom leveren aan ruimten met een woonfunktie. De aarde-normen zijn beschreven in de NEN1010-installatievoorschriften. Deze schakelaar zit in de centrale schakelkast van het gebouw. Hij reageert als er een verschil bestaat tussen de stroom door de faselijn en die door de neutrale lijn, dus als er kennelijk een stroom naar de aarde vloeit. Over het algemeen schakelen ze bij 30 mA lekstroom heel snel uit. Dit vormt de beste beveiliging tegen de gevaren van het lichtnet. Aardlekschakelaars zijn ook als tussenschakelaar in een snoer los te koop, bijvoorbeeld voor gebruik met caravans. Zo'n apparaat is altijd goed om te gebruiken in de werkhoek en om bij de hand te hebben tijdens reparaties.



Figuur 7-X3. Een klasse II-toestel. De isolatie is hier overal volgens klasse II (zie de aanduidingen (2) in de tekening). Alleen de isolatie van het 220 V-circuit is hetzelfde als in figuur 7-X2.

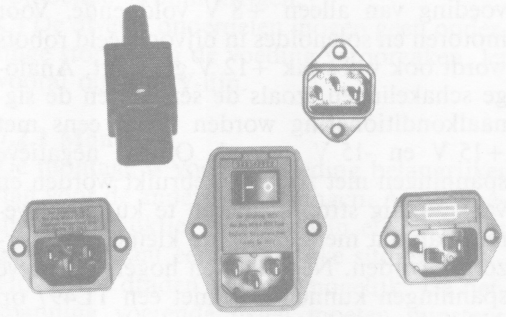


Foto 21. Enkele klasse I euro-chassisdelen en een klasse I euro-apparaatstekker. Hiermee is de netspanning op een veilige manier aan te sluiten. Bij klasse II-apparaten mag er geen aardpen in het chassisdeel zitten.

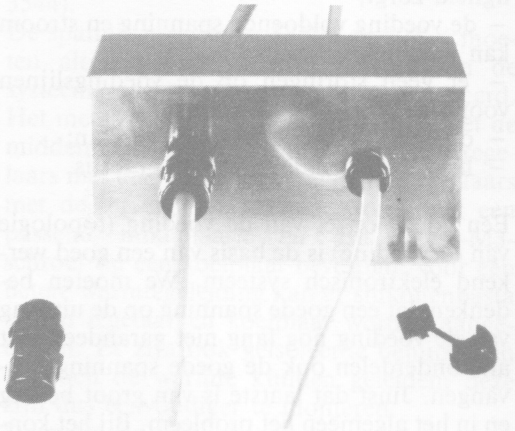


Foto 22. Een netsnoer moet voorzien zijn van een goede trekontlasting.

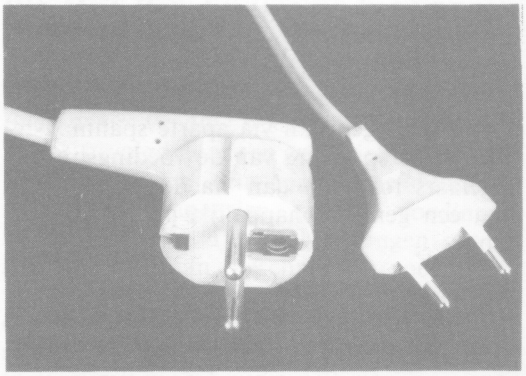


Foto 23. Een steker met randaarde en een euro-netsteker (rechts).

7.2 Voeding

Zonder een goede voeding werkt een schakeling niet goed. Dit lijkt voor de hand liggend. Toch blijkt bij experimenten en reparaties, dat de voeding nogal eens problemen geeft. Bij het testen van nieuwbouw en bij reparaties is de voeding altijd de plaats om te beginnen met een kontrole.

Er moet voor gezorgd worden dat:
- de voeding voor voldoende isolatie en veiligheid zorgt;
- de voeding voldoende spanning en stroom kan leveren;
- er geen storingen op de voedingslijnen voorkomen;
- de geproduceerde warmte weg kan;
- het geheel solide in elkaar gezet is.

Een goede opzet van de voeding (topologie van de voeding) is de basis van een goed werkend elektronisch systeem. We moeten bedenken dat een goede spanning op de uitgang van de voeding nog lang niet garandeert dat alle onderdelen ook de goede spanning ontvangen. Juist dat laatste is van groot belang en in het algemeen het probleem. Bij het kontroleren van een schakeling moet dan ook per onderdeel gemeten worden of het, ook onder belasting, de juiste spanning ontvangt. In het ideale geval ontvangt elk onderdeel van de schakeling onbeperkt een spanning van kontinu het goede niveau. Dit kan het beste worden gerealiseerd met een zogenaamde sterschakeling. Daarbij komen alle verbindingen tussen de diverse onderdelen en de voeding via aparte draden rechtstreeks op een centraal punt bij de voedingsuitgang samen. Bij een andere goede oplossing wordt de voeding via een voedingslijn, een referentielijn en een massa of retourlijn met elk een voldoende lage weerstand verzorgd. Alle delen van het systeem krijgen dan via aparte spanningsregelaars de spanning van de voedingslijn; de regelaars refereren dan via de referentielijn aan een gemeenschappelijke referentiespanning.

Bij het Mikrosysteem wordt een centrale voeding van +8 V gebruikt die via de bus de basiskaarten van spanning voorziet. Op de basiskaarten zitten +5 V-regelaars. Zodoende zijn de kaarten goed tegen onderlinge storing beschermd. Deze uitvoering lijkt veel op de hiervoor beschreven opzet, alleen de centrale referentielijn ontbreekt. Door de toleranties van de regelaars zullen ze op elke kaart een iets afwijkende spanning afgeven. Zulke kleine spanningsverschillen tussen de delen van een digitaal systeem leveren echter geen problemen op.
De voeding kan bij een systeem met weinig kaarten ook rechtstreeks via de busbuffer met +5 V gebeuren. Eventueel kan de +5 V van de computer afkomstig zijn. De spanningsregelaar moet dan dus op de basiskaarten worden weggelaten.
De voeding echter het beste direkt goed worden aangepakt met op elke kaart een spanningsregelaar; zo zijn de schema's ook getekend.

Behalve de basiskaarten en de kaartbuffers zullen ook vaak grote stroomverbruikers zoals motoren moeten worden gevoed. Dit zijn notoire storingsbronnen; ze moeten altijd via een eigen spanningsregelaar rechtstreeks met de centrale massa en plus verbonden worden. Beter is het om voor de grote stroomgebruikers een komplete aparte voeding met een eigen trafo te nemen en de stuurverbindingen via opto-isolatoren tot stand te brengen. Op die manier worden storingen het allerbeste voorkomen.
Als er een aparte voeding voor het digitale en het krachtdeel van het systeem zonder opto-isolatie gebruikt wordt, moet niet vergeten worden de twee massa's door te verbinden.

Voor de meeste schakelingen is een centrale voeding van alleen +8 V voldoende. Voor motoren en solenoïdes in bijvoorbeeld robots wordt ook wel vaak +12 V gebruikt. Analoge schakelingen, zoals de sensors en de signaalkonditionering worden nogal eens met +15 V en -15 V gevoed. Omdat negatieve spanningen niet zo vaak gebruikt worden en vaak weinig stroom hoeven te kunnen leveren, kan dat met een aparte kleine trafo verzorgd worden. Negatieve en hogere positieve spanningen kunnen ook met een TL497 op de kaart gemaakt worden, maar dan ontstaat er misschien storing door de oscillator op deze chip.

Het zelf bouwen van een voeding moet alleen gebeuren als men over de mogelijkheden en vaardigheid beschikt om het geheel goed en stevig te bouwen. Als men daar niet over be-

schikt is het beter een netvoeding aan te schaffen. Daarvoor komen de zogenaamde netadapters en de grotere 12 V-voedingen voor bijvoorbeeld MARC-zend/ontvangers in aanmerking. Zo'n kant en klare voeding is vrijwel altijd volgens klasse II-isolatie gebouwd. Het is aan te raden om de prijs van zelfbouw en kant en klaar te vergelijken. Kant en klare niet gestabiliseerde voedingen voor diverse voltages en met behoorlijke amperages zijn goedkoop verkrijgbaar en goed bruikbaar. Daar komt bij dat de stabilisatie juist goed zelf te bouwen is. De hierna beschreven schakelingen kunnen prima achter zo'n kant en klare ongestabiliseerde voeding worden opgenomen. De veiligheid is dan al in orde. Voor de volledigheid worden de standaard-voedingen inklusief 220 V-aansluiting, transformator en gelijkrichter beschreven. Bij de overige voedingsschakelingen wordt er van uitgegaan dat er een voldoende hoge ongestabiliseerde gelijkspanning aanwezig is.

Voor negatieve spanningsverzorging kan de plus van een netadapter met de systeemaarde (massa) worden verbonden. De 0 V-aansluiting is dan de negatieve spanningsaansluiting. De spanningsstabilisatie moet dan nog met een driepins negatieve spanningsregelaar gebeuren.

De voeding moet dus voor het volgende zorgen:
A) De veiligheid moet gewaarborgd zijn.
B) Elk onderdeel moet de juiste spanning en voldoende stroom krijgen.
C) De diverse onderdelen mogen geen onderlinge storing via de voeding veroorzaken, let vooral op de 0 V-lijn.

7.2.1 Montage

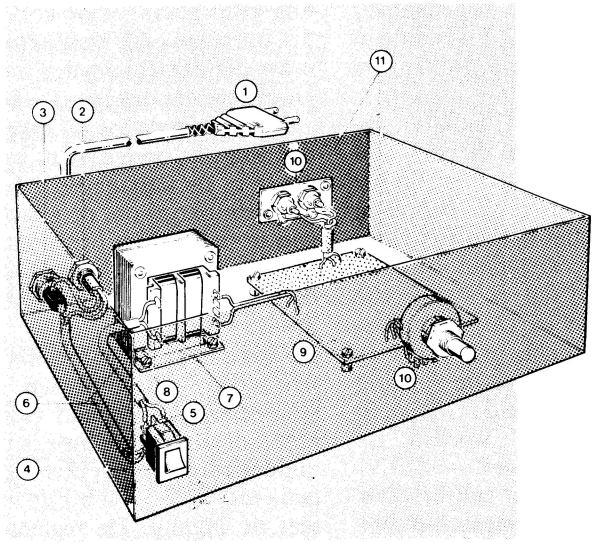
De montage is voor de voeding belangrijker dan voor de andere schakelingen. Als de voeding konstruktief niet goed in elkaar wordt gezet, ontstaat een gevaarlijke situatie.
Houd alle draden zo kort mogelijk. De netspanning voerende delen moeten minstens 6 mm van de kast, de aanraakbare delen en de rest van de schakeling worden gehouden. Gebruik goed geïsoleerd draad van voldoende dikte, ∅1 mm = 0,79 mm². Maak de plaatsen waar de isolatie van het draad is gehaald zo klein mogelijk. Draden moeten met goede bevestigingsmaterialen aan de kast worden gezet; als een draad losraakt mag er nog geen gevaar voor kontakt met het lichtnet ontstaan. Als randaarde wordt gebruikt, moet die draad langer zijn dan van de spanningvoerende draden. De bedoeling is dat de aarde als laatste los zal raken. Uiteraard moeten ook alle onderdelen, met name de trafo, stevig in de kast bevestigd zijn. Het gebruik van krimpkous om de aansluitingen is beslist aan te raden. Het apparaat moet herhaaldelijk een val van 5 cm hoogte op een harde ondergrond kunnen doorstaan (zie ook NEN 3544).
De spanningsregelaars 78XX en 79XX moeten altijd geïsoleerd ten opzichte van de systeemaarde en elkaar worden gemonteerd. Het metaal van het huis is verbonden met de midden-aansluiting, dus bij de positieve regelaars met de 0 V en bij de negatieve regelaars met de ingang. De regelaar wordt met een passend mikaplaatje en een nylon-M3-schroef op een koelplaat bevestigd; voor een betere warmtegeleiding kan er silikonenpasta tussen regelaar en koelplaat worden aangebracht. Er zijn ook geïsoleerde behuizingen die toch de warmte kunnen geleiden; deze zijn dus eenvoudiger te monteren.
De netingang kan het beste met een eurochassisdeel gemaakt worden. Dit is een apparaatsteker die ook veel aan printers etc. zit. Ze zijn verkrijgbaar met ingebouwde zekering en/of netfilter.

LET OP :
De schakelingen zijn verbonden met het lichtnet er staat dus 220 V op. Dit kan dodelijk zijn!!

WERK NOOIT AAN EEN SCHAKELING DIE MET HET LICHTNET IS VERBONDEN!!

7.2.2 Lineaire voeding

Een lineaire voeding bestaat uit een transformator, gevolgd door een gelijkrichter, afvlakkondensator en een spanningsstabilisatieschakeling. Aangezien lineaire voedingen minder gevoelig zijn voor storingen vanuit het lichtnet dan geschakelde voedingen, wordt voor meet- en regel-installaties liever een lineaire voeding gebruikt. Om een geschakelde voeding goed aan de belasting aan te passen, is meer kennis vereist dan voor een lineaire voeding. Een reden temeer om hier lineaire voedingen te gebruiken.



899007 - 7 -X4

Aangezien dit geen boek over voedingen is, wordt alleen een aantal standaard-recepten besproken. Daarmee kunnen alle Mikrosysteem-schakelingen gevoed worden. Aangezien voor de signaal-konditionering, de sensors en de actuators, vaak andere spanningen dan voor het digitale systeem nodig zijn, wordt ook daarvoor een aantal voedingen besproken.

7.2.2.1 De opbouw van een lineaire voeding
De belangrijkste onderdelen van een lineaire voeding zijn:

1) Een TRANSFORMATOR, die de netspanning naar de juiste waarde brengt en zorgt voor de scheiding tussen gebruiker en lichtnet. Daarmee levert een goede trafo de grootste bijdrage aan de veiligheid.
2) De GELIJKRICHTER (dioden) maken van de wisselspanning een gelijkspanning.
3) Een AFVLAKKONDENSATOR zorgt dat de spanning een minimale konstante waarde krijgt en van de ergste rimpel ontdaan wordt.
4) Het SPANNINGSSTABILISATIE-CIRCUIT zorgt dat de afgegeven spanning kontinu op dezelfde waarde blijft.
5) Een INDIKATIE-LED met voorschakelweerstand geeft aan of de uitgangsspanning aanwezig is.
6) Een DUBBELPOLIGE NETSCHAKELAAR en SMELTZEKERINGEN zorgen voor extra veiligheid.

Hier volgt een nadere bespreking van de onderdelen die in elke lineaire voeding voorkomen.

1) De TRANSFORMATOR moet voldoende spanning en stroom kunnen leveren. Een ringkerntrafo geeft minder strooiveld-storing dan een gewone bloktrafo. Door het afgegeven strooiveld is de trafo een belangrijke storingsbron (50 Hz-brom); we moeten de trafo dan ook ver weg houden van gevoelige schakelingen.
Voor klasse II-veiligheid moet een zogenaamde veiligheidstransformator worden gebruikt. Deze heeft een doorslagspanning die aan de normen voldoet, minstens 4240 Vtt.

2) De gelijkrichter bestaat uit vier DIODEN. Deze moeten voldoende stroom kunnen doorlaten. De 1N5403 kan stromen tot 3 A verwerken, de 1N4004 tot 1 A. Een diode laat de wisselstroom in één richting door, zo wordt van wisselstroom gelijkstroom gemaakt. Het wordt een soort wisselspanning die alleen maar positief is. Er bestaan verschillende manieren om een wisselspanning in een gelijkspanning om te zetten. De meest effektieve en hier toegepaste bestaat uit de dubbelfasige gelijkrichter, de Graetzbrugschakeling van vier dioden. De topwaarde van de uitgangsspanning is $\sqrt{2}$ x zo groot als de effektieve waarde van de wisselspanning.

Figuur 7-X4. Een voorbeeld van een klasse II-toestel. Een aantal punten uit deze figuur verdienen enige extra aandacht:
1. Gebruik een netsnoer met aangegoten euro-netsteker.
2. Het netsnoer moet via een deugdelijke trekontlasting naar binnen worden gevoerd.
3. De zekeringhouder. De omgeving van de zekering houder is een prima plaats om apparaattype, ''soort'' netspanning, en de waarde van de zekering te vermelden (uiteraard op de buitenzijde van de kast).
4. De netschakelaar. De lucht- en kruipweg tussen de kontakten en het chassis moet minstens 6 mm zijn. Gebruik geen metalen knoppen, deze zijn in de meeste gevallen onvoldoende geïsoleerd.
5. De draden door de soldeerogen steken en solderen.
6. Breng een kous aan voor dubbele isolatie.
7. De afstand van de aansluitingen van de primaire wikkeling tot de kern en de rest van de omgeving moet minstens 6 mm (lucht- of kruipweg) zijn.
8. Gebruik snoer met tenminste 0,4 mm isolatie en een kerndoorsnede van 0,75 mm².
9. De print en de schakeling mogen geen direkte verbinding met het lichtnet hebben (zoals bijv. bij triacschakelingen), verder worden er geen bijzondere eisen gesteld. Uiteraard moet de print wel stevig worden bevestigd.
10. De massa van de schakeling mag worden aangeraakt, omdat de nettrafo voor voldoende veiligheid zorgt (als dit tenminste een veiligheidstrafo is) èn de schakeling geen direkte verbinding met het lichtnet heeft.
11. De kast mag best van metaal zijn, immers het primaire circuit is met een dubbele isolatie van de omgeving gescheiden. Kunststof heeft echter de voorkeur.

3) De AFVLAKKONDENSATOR moet ervoor zorgen dat het een gelijkspanning wordt met een voldoende hoge kontinu-spanning. De kondensator laadt op tijdens het stijgende deel van de ingangsspanning om de energie tijdens het dalende deel weer gedeeltelijk af te geven. De grootte van de kondensator wordt bepaald door de hoeveelheid stroom die de schakeling gebruikt en ook door de frekwentie van het lichtnet. Er moet immers in tijdens ''het stijgende deel'' voldoende energie opgeslagen worden om af te geven tijdens het dalende. Aangezien de netfrekwentie vastligt, wordt bij de berekening alleen gekeken naar de opgenomen stroom. Aangezien de waarden al gauw $\geq 1000\ \mu F$ zijn, wordt een elektrolytische kondensator gebruikt. De werkspanning mag niet te laag genomen worden, minimaal twee keer de maximale uitgangsspanning van de trafo.
4) De SPANNINGSSTABILISATIE kan op diverse manieren verzorgd worden. De belangrijkste eisen die aan het circuit gesteld worden zijn de mate van stabilisatie, de nauwkeurigheid van de uitgangsspanning, de maximale stroom die doorgelaten kan worden en de spanningsval over de stabilisatieschakeling. Er bestaan een groot aantal schakelingen en speciale IC's voor dit doel. De bekendste spanningsstabilisatoren zijn de zogenaamde driepins regelaars uit de 78XX- en 79XX-serie. Deze worden ook bij het Mikrosysteem toegepast. Voor nauwkeurige en groter-vermogen-regelingen worden de μA723- en LM325-spanningsregelaars ook besproken. De 78XX- en 79XX-regelaars hebben slechts een ingang, uitgang en aarde en zijn beveiligd tegen overbelasting en oververhitting. Toch vragen ze iets meer aandacht dan ze doen vermoeden. De hierna volgende aanwijzingen voor gebruik gelden overigens voor alle spanningsregelaars in IC-vorm.
* Als bescherming tegen ''terugstromen'' door kortsluitingen op de ingangsspanning, wordt een diode over de regelaar gezet. De spanning aan de uitgang van de regelaar mag namelijk nooit hoger worden dan die aan de ingang.
* Deze IC's worden met zogenaamde breedband-transistoren gemaakt en zijn daarom gevoelig voor oscillaties. Door ontkoppelkondensatoren dicht bij het IC te plaatsen wordt dit voorkomen.
* Over het algemeen is een lange en onzorgvuldige bedrading de oorzaak van oscillaties. De werking van de regelaar wordt ook beïnvloed als de loop van de stromen rondom het IC belemmerd wordt door dunne of lange draden. Dit beïnvloedt ook de nauwkeurigheid van de uitgangsspanning. Uit de schema's van de voedingen is af te leiden hoe een goede bedrading gemaakt wordt. Volg met korte draden de werkelijke loop van het schema en maak geen kriskras-bedrading. Bedenk dat een geleidende draad nooit 0 Ω is en dat de weerstand met de lengte toeneemt.

* Een regelaar moet voortdurend voldoende spanning aangeboden krijgen om zijn werk goed te doen; voor de 7805 is dat 8 V. De ongestabiliseerde gelijkspanning moet ook niet veel te hoog zijn, want alle energie die weggewerkt moet worden om de spanning te verlagen, wordt in warmte omgezet.
* Omdat er warmte ontwikkeld wordt, moet de regelaar gekoeld worden. Daarom moet er vrijwel altijd een koellichaam op de regelaar gezet worden. De optimale werktemperatuur is in het algemeen 25°C en maximaal 75°C.
* De driepins regelaars zijn in een aantal types wat betreft nauwkeurigheid en maximale stroom verkrijgbaar. Een nauwkeurigheid van 3 % is normaal, maar 1 % is ook goed leverbaar. De maximale stromen variëren van 0,5 A tot 2 A. Andere spanningsregelaars zijn met vrijwel elke gewenste uitgangsspanning en maximale stroomsterkte leverbaar. Met transistoren kan de maximale uitgangsstroom over het algemeen zonder meer naar behoeven aangepast worden. Zie ook verderop enige schakelingen.

5) De INDIKATIE-LED met voorschakelweerstand zorgen niet alleen voor een aardig lichtsignaal, maar ook voor het ontladen van de afvlakkondensator na het uitschakelen van de spanning. Vooral bij experimenten is het belangrijk dat in bepaalde gevallen de voeding niet alleen uit staat, maar dat er ook echt geen spanning op de klemmen aanwezig is. Deze twee onderdelen horen dus echt bij een voeding.

6) Een voeding wordt voltooid met een SMELTZEKERING en een DUBBELPOLIGE NETSCHAKELAAR in het netsnoer. De waarde van de smeltzekering wordt berekend naar het opgenomen vermogen. Voor lichtnetzekeringen wordt een traag type genomen. Ook aan de uitgangskant wordt een trage zekering opgenomen. Deze moet net zo groot zijn als de maximaal toegestane belasting van de voeding. Het is natuurlijk ook mogelijk een elektronische zekering te gebruiken; daarvoor is echter geen schema opgenomen.

Om te voorkomen dat de hele schakeling kapot gaat als de voeding in de fout gaat, wordt ook nog wel eens een speciale overspanningsbeveiliging tussen de voeding en de schakelingen geplaatst. Daarvoor wordt vaak een schakeling met een thyristor gebruikt. Deze sluit de voeding kort bij overspanning op de uitgang. Voor eenvoudige toepassingen kan dit ook simpelweg bestaan uit een forse zenerdiode. Dit wordt ook bij de standaardvoeding voor de basiskaarten gebruikt. In beide gevallen wordt gerekend op een zekering in de uitgang van de voeding voor het echte uitschakelen. In dit geval is zo'n overspanningsbeveiliging niet echt nodig omdat er per kaart een aparte spanningsregelaar zit. Deze blijft zonder problemen werken als de +8 V plotseling naar +12 V of zelfs tot +35 V gaat.

7.2.2.2 Berekening van de onderdelen
Bij de berekening wordt gewerkt vanuit de gewenste uitgangsspanning en het maximaal te leveren vermogen. Als voorbeeld wordt een voeding met een driepins regelaar berekend die +8 Volt bij 1,5 A en +12 V bij 1,5 A moet leveren. Zie figuur 7-1. Eerst wordt de spanning vastgesteld en nagegaan hoeveel stroom er nodig is. Een 78XX- of 79XX-regelaar moet minimaal 3 V meer aangeboden krijgen dan hij moet leveren. Bij de 7808 is dat 3,5 V voor maximale rimpelonderdrukking. De afvlakelko moet dus zorgen dat de rimpelspanning zo klein wordt dat de dalwaarde van de gelijkspanning niet onder die waarde komt. In het voorbeeld is dat dus 11,5 V plus 10 % is 12,5 V. Als maximale rimpelspanning nemen we 2 Vtt. De regelaar kan maar 1,5 A verwerken, maar er is gerekend op nog 1,5 A belasting van de ongestabiliseerde gelijkspanning. De elko moet tussen de toppen voldoende lading opslaan; bij 50 Hz-netfrekwentie en een dubbelfasige gelijkrichter is de frekwentie 100 Hz en de tijd dus 10 ms (=0,01 s). De rimpelspanning is gelijk aan de stroom x de tijd, gedeeld door de kapaciteit van de afvlakelko, $Vr = t \cdot I/C$. Als het stroomverbruik en de maximaal toegestane rimpelspanning bekend zijn, kan de kapaciteit van de afvlakkondensator dus ook berekend worden: $C = t \cdot I/Vr$.
Voorbeeld $C = 0{,}01 \cdot 3/2 = 0{,}015$ F = 15000 μF, plus 30 % voor de tolerantie van de elko.
De vuistregel voor 50 Hz-net en dubbelfasige gelijkrichting, dus 100 Hz-rimpel, is 6500 μF per A voor 2 Vtt rimpel. Vaak wordt een rimpel van wel 4,5 Vtt geaksepteerd; als geen rekening met toleranties wordt gehouden is 2200 μF per A genoeg. Dit is een veel voorkomende waarde in de literatuur. Het nadeel

daarvan is dat de spanning vanaf de trafo hoger moet zijn en dat de regelaar meer vermogen moet dissiperen dan bij 2 Vtt rimpel. De regelaar zal de resterende rimpel volgens de datasheets minimaal 50 dB en typisch 70 dB of beter onderdrukken. De belangrijkste reden om een grote elko toe te passen is dan ook het verkleinen van de spanning die de trafo moet leveren en de vermogensdissipatie in de regelaar.

1) De kapaciteit van de afvlakelko is dus: 6500 μF per A opgenomen stroom (minimaal 2200 μF/A)

Tijdens het gelijkrichten met een dubbelfasige gelijkrichter wordt de topwaarde van de gelijkspanning 1,4 ($\sqrt{2}$) keer zo groot als de opgegeven effektieve wisselspanning van de trafo. Omdat er jammergenoeg geen energie uit het niets bijkomt, wordt de maximale stroom verkleind tot de voor de trafo opgegeven maximale stroom gedeeld door 1,4. Achter de gelijkrichter verdwijnt 1,2 tot 1,4 V door de spanningsval over de dioden. Om voldoende spanningsruimte te houden voor de regelaar moet de topwaarde van de uitgangsspanning van de brug dus gelijk zijn aan de gewenste uitgangsspanning van de voeding plus de spanningsval over de regelaar plus de rimpelspanning na de afvlakelko. De trafo moet dus een effektieve spanning leveren die gelijk is aan de gewenste uitgangsspanning van de brug plus 1,4 V, gedeeld door 1,4.

$V_{trafo} = (V_{uit}+V_{regelaar}+V_{rimpel}+1{,}4)/1{,}4 = (8+4+2+1{,}4)/1{,}4 = 11$ V.

Aangezien de netspanning ook nog enige (negatieve) tolerantie kan hebben, moet de effektieve spanning minimaal 12 V zijn. Er is dan rekening gehouden met een extra tolerantie van ongeveer 10%. De elko moet dus minimaal tegen $1{,}4\cdot 12-1{,}4 = 15{,}4$ V bestand zijn. Meestal geldt de door de fabrikant opgegeven trafospanning bij nominale belasting. Onbelast kan de uitgangsspanning van een trafo tot 20% (1,2x) hoger zijn. Het kan dus geen kwaad om de werkspanning van de elko ruim te kiezen. In dit geval komen we dus op een ($V_{elko} \geq 12\cdot 1{,}2\cdot 1{,}4-1{,}4 = 18{,}8$ V) 25 V-standaardtype.

Voor het opstellen van een vuistregel wordt aangenomen dat de rimpelspanning plus de spanningsval over de regelaar samen altijd 7,4 V zijn. Zoals eerder vermeld moet de stroom die de trafo kan leveren 1,4 keer zo groot zijn als de gewenste uitgangsstroom. In het voorbeeld dus $3\cdot 1{,}4 = 4{,}2$ A.

2) De effektieve sekundaire spanning van de transformator is:
$((V_{uit}+7{,}4)/1{,}4)+10$ %. [V]
3) De effektieve uitgangsstroom van de trafo moet zijn:
$I_{eff\text{-}trafo} \geq I_{uit\text{-}gewenst}\cdot 1{,}4$ [V]

Om echt minimale dissipatie te bereiken kan een trafo met meerdere aftakkingen worden gebruikt. De juiste ingangsspanning kan dan proefondervindelijk met meetapparatuur worden vastgesteld. Er hoeft dan alleen maar rekening te worden gehouden met de netafwijking.

De zekering in de netleiding kan als volgt berekend worden. Vermogen is stroom x spanning x verliesfaktor: $P = V\cdot I\cdot 1{,}7$. Hierbij is uitgegaan van een rendement van 60 %: $1{,}7 \approx 1/0{,}6$. In het voorbeeld: $12\cdot 4{,}2\cdot 1{,}7 = 86$ W. De zekering moet 1,5 keer zo groot zijn als de benodigde stroom door de primaire wikkeling. Zo brandt hij niet door als de inschakelpiekstroom loopt. Een zekering die lange tijd tegen zijn maximum wordt gebruikt, smelt uiteindelijk "vanzelf".

In het voorbeeld: $I_{zekering} = 1{,}5\cdot 86$ W / 220 V $= 0{,}58 \approx 600$ mA. Vanwege de veiligheidsfaktor in de berekening is 0,5 A ook nog goed. In de netleiding wordt een traag type zekering gebruikt.

4) Opgenomen vermogen $P_{net} \approx V_{trafo}$ uit $\cdot I_{trafo}$ uit $\cdot 1{,}7$ [W]
5) Waarde smeltzekering $I_{zek} \approx 1{,}5\cdot(P_{net}/220)$ [A]

7.2.2.3 Vuistregels berekening lineaire voeding

De variabele gegevens zijn:
A) De gewenste uitgangsspanning: V_{uit}
B) De gewenste uitgangsstroom: I_{uit}

Berekend wordt:
1) De sekundaire effektieve spanning van de trafo:
$V_{tr} = ((V_{uit}+7{,}4)/1{,}4)\cdot 1{,}1$ [V]
2) De minimale effektieve uitgangsstroom van de trafo:
$I_{tr} = I_{uit}\cdot 1{,}4$ [A]
3) De kapaciteit van de afvlakelko:
$C = 6500\cdot I_{uit}$ [μF]
4) De werkspanning van de afvlakelko:
$V_{elko} \geq 1{,}2\cdot 1{,}4\cdot V_{tr}-1{,}4$ [V]

5) Het opgenomen vermogen:
$P_{net} \approx V_{tr} \cdot I_{tr} \cdot 1{,}7$ [W]
6) De waarde van de smeltzekering:
$I_{zek} = 1{,}5 \cdot (P_{net}/220)$ [A]

7.2.2.4 Gegevens driepins spanningsstabilisatoren

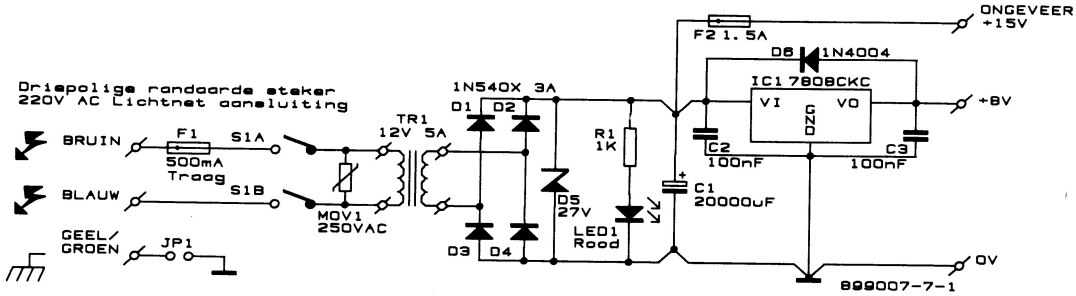
Hieronder volgens de typische gegevens voor driepins spanningsregelaars. Er zijn ook types leverbaar met betere specifikaties. Deze gegevens gelden voor de standaardtypes:

Absoluut maximale ingangsspanning voor alle types: 35 V
Voltage drop (spanningsval) over de regelaar: ≥2 V
Kontinu uitgangsstroom: ≤1 A
Minimale ingangsspanning:
V_{uit} + 3...3,5 V
Spanningsregeling onder belasting:
0,1...0,5%
Temperatuurstabiliteit:
2% tot 150°C (max temp.)
Rimpel-afvlakking: 0,05...0,1%
Piekdemping : 0,1...0,3%
Uitgangsimpedantie: ca. 0,02Ω

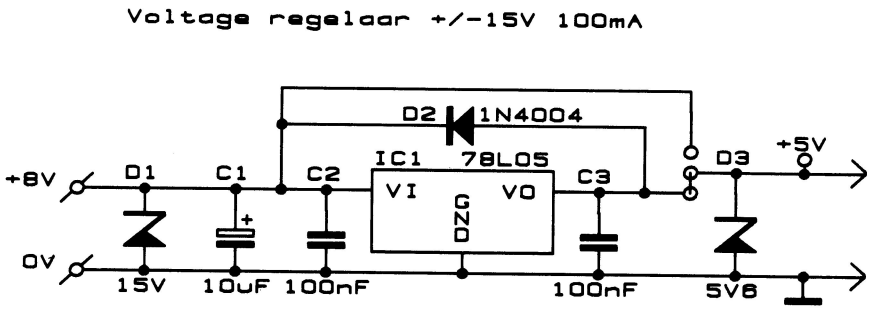
7.2.3 Standaardvoeding +8 V/1,5 A
Na het voorgaande is niet veel meer over deze schakeling te zeggen. Het voorbeeld slaat op deze voeding. De gestabiliseerde uitgang kan met de 7808CKC maximaal 1,5 A leveren. Gewone standaard-7808-regelaars kunnen tot 1 A verwerken. Er zijn overigens 78XX-regelaars beschikbaar die tot 2 A kunnen leveren. Let in alle gevallen op de koeling; zonder koeling is de maximaal toegestane dissipatie en dus de stroomsterkte veel kleiner. De voeding is zo berekend dat van de ongestabiliseerde +12 V-uitgang maximaal 3−1,5 = 1,5 A betrokken kan worden. Hiermee kan een redelijk groot digitaal systeem plus ook nog enige kleine elektromotoren, relais of andere belastingen gevoed worden. Als er meer nodig is voor de grote stroomverbruikers, moet daarvoor een aparte trafo met bijbehorende schakeling gebruikt worden.
Jumper JP1 moet gesloten worden als volgens veiligheidsklasse I gewerkt wordt. Dit zal dus meestal niet het geval zijn.

7.2.4 Energieverzorging op de basiskaarten
Op elke basiskaart zit een 78L05-spanningsregelaar. Als meer dan 100 mA wordt verbruikt, moet een 78M05 geplaatst worden. De M-serie kan tot 500 mA leveren. De spanningsregelaar zet de +8 V-voedingsspanning van de mikrobus om in een per kaart onafhankelijke +5 V-voeding. Op die manier wordt onderlinge beïnvloeding van de kaarten voorkomen. Een extra voordeel is dat het hele systeem niet vernield wordt als de centrale voedingsstabilisatie faalt.

Bij de basiskaarten is steeds een spanningsregeling met een 78L05-regelaar en twee kondensatoren afgebeeld. De voeding wordt bij de basiskaarten niet meer toegelicht. Omdat er vaak niet zoveel ruimte in de figuur was, is de voeding daar niet uitgebreider getekend. De schakeling van figuur 7-2 kan echter beter gebruikt worden. Op de experimenteerprint



Figuur 7-1. Netvoeding +8 V/1,5 A gestabiliseerd en +15 V/1,5 A ongestabiliseerd



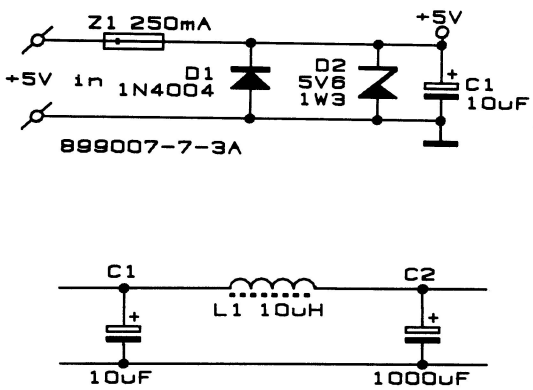
Figuur 7-2. Lokale (on-card-) stabilisatie van de voedingsspanning

voor de basiskaarten is daarvoor dan ook de ruimte aanwezig. De elko en de 100 nF-kondensator aan de ingang zorgen voor ontkoppeling van het binnenkomende signaal. Dit kan nodig zijn vanwege de relatief lange verbinding met de voeding. De 100 nF-kondensator aan de uitgang zorgt voor hoogfrekwente ontkoppeling; gebruik daarvoor een multilayer-type; deze hebben een kleine induktie. De beide zenerdioden dragen bij tot een storingvrij funktioneren. Ze zijn zeker niet noodzakelijk, maar kunnen beter wel worden aangebracht. De diode is opgenomen om de regelaar te beveiligen tegen "terugstromen". Eventueel kan een jumper aangebracht worden om ook met een centrale voedingsspanning van +5 V te kunnen werken. Dit heeft echter niet de voorkeur.

Als een schakeling geen aparte spanningsregeling heeft, kan die beveiligd worden tegen het verkeerd aansluiten van voedingsspanningen. Vooral bij gebruik van het Mikrosysteem in een edukatieve omgeving is zo'n extra (studentproof-) beveiliging aan te raden. Tussen de voedingsaansluitingen wordt een diode opgenomen die als kortsluiting voor omgekeerd aangesloten spanningen werkt. Als een zenerdiode van 5V6 wordt gebruikt werkt die ook als kortsluiting voor spanningen boven 5,6 V en beschermt daarmee de kaart tegen spanningspieken. Bij een 10%-type ligt de nominale waarde dan tussen 5 V en 6,2 V, dat is binnen de TTL-veiligheidsgrenzen. Een zenerdiode begint al een beetje vóór de opgegeven spanningswaarde te geleiden, dus er mag echt geen 4,7 V-type ingezet worden. Aangezien de dioden gebruikt worden als 'kortsluiters' moeten ze stevig zijn. Voor de zener een type van 5V6 en minstens 1,3 W vermogen, voor de diode een 1N4004, 1N5403 of ander stevig type. Er moet een zekering van bijvoorbeeld 250 mA in de voedingslijn worden opgenomen. Anders branden de dioden er bij een fout uit.

7.2.5 Smoorspoelen in de voedingsleiding

Als een aantal delen van een systeem vanaf dezelfde voeding gevoed moeten worden, kan er toch iets aan het onderdrukken van onderlinge storingen worden gedaan. Om te beginnen moeten er natuurlijk op de juiste plaatsen ontstoor-kondensatoren zijn opgenomen.



Figuur 7-3a. Lokale (on-card) overspannings- en polariteitbeveiliging

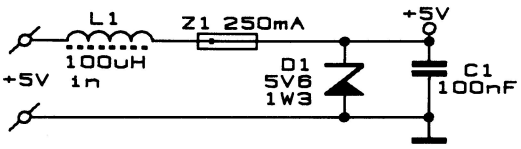
Verder kan het plaatsen van een smoorspoel in de spanningvoerende leiding ook veel effekt hebben. Uiteraard mag er geen spoel in de massabedrading worden opgenomen. De volgende schakeling (7-3b) vormt een effektief filter voor storingen. Door de kapaciteit in de achterliggende elektronica zal C2 meestal overbodig zijn.

7.2.6 Ontstoren met zenerdiode en smoorspoel.

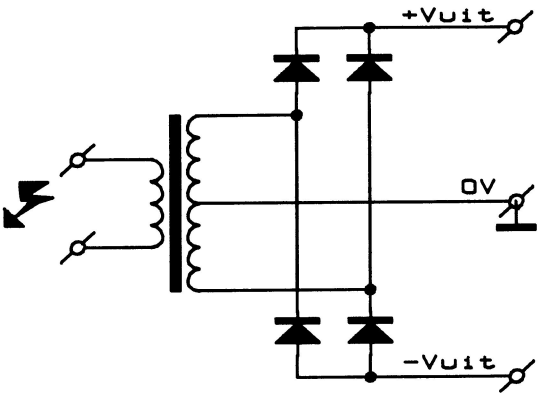
Een zenerdiode en een smoorspoel kunnen ook uitstekend samenwerken. De zener doet zijn gewone werk als overspanningsbeveiliging. De smoorspoel remt als gewoonlijk snelle stroomvariaties af. Als er een spanningspiek op de lijn voor komt zal de zener gaan geleiden. Daardoor zal een stroompiek in de leiding ontstaan. De smoorspoel vormt een weerstand voor die snel veranderende stroom. Op die manier werken beide onderdelen optimaal samen. Zie figuur 7-3c. In plaats van een smeltzekering kan veel beter een moderne "elektronische" zekering worden genomen. Van bijvoorbeeld Bourns bestaan de Multifuse "niet stukgaande" zekeringen. Die zijn leverbaar vanaf 200mA. De maximale stroom die er mag lopen hangt vooral af van de smoorspoel. Maar ook de dissipatie in de zenerdiode moet niet worden vergeten.

7.2.7 Negatieve spanning

Een +5 V-voeding is in principe voldoende om een digitaal systeem te voeden. Voor analoge IC's zoals opamps is vaak een hogere positieve en negatieve spanning nodig. Negatieve voedingsspanningen kunnen met de 79XX-serie-spanningsregelaars gestabiliseerd worden. De polariteit van alle onderdelen is dan omgekeerd, dus de elektrolytische kondensatoren moeten met de plus aan de massa. Let ook op de aansluiting van de spanningsregelaar, die is bij negatieve regelaars anders.



Figuur 7-3c.



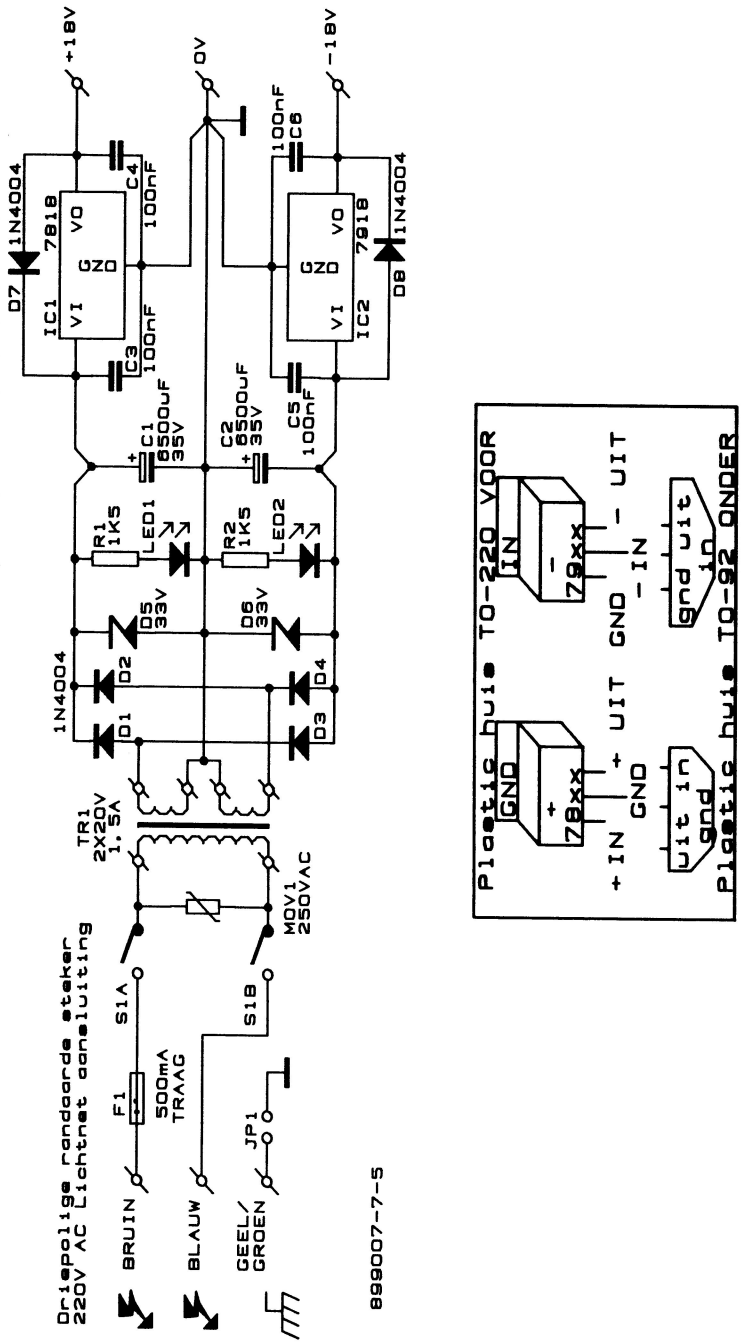
Figuur 7-4. Positive en negatieve gelijkrichting bij een trafo met gemeenschappelijke middenaansluiting

Meestal wordt een transformator met twee gescheiden sekundaire wikkelingen gebruikt. Dit is in het schema (7-5) van de dubbele voeding te zien. Door één zijde van elk van de twee wikkelingen door te verbinden, wordt het een trafo met een middenaftakking. Soms zijn trafo's al zo uitgevoerd. Zie figuur 7-4 voor de manier van aansluiten van de gelijkrichter. Er worden dan maar vier dioden gebruikt.

Als er maar een kleine negatieve stroom nodig is, kan die ook ter plekke gemaakt worden. Bijvoorbeeld met een TL497. De oscillator die nodig is voor de omzetting, maakt dit lang altijd niet tot een onverdeeld sukses. De afgegeven spanning is zonder extra maatregelen ook niet bepaald rimpelvrij. Zie 7.2.9, gelijkspanningsomzetting.

7.2.8 Standaardvoeding +18 V/-18 V/1 A

Deze schakeling is speciaal bedoeld om als aanvulling bij de +12 V/+8 V-voeding te gebruiken. Hoewel er een 78XX en 79XX zijn aangegeven, kan ook een M- of L-type gebruikt worden. De waarde van de kondensator moet uiteraard aan de belastingsstroom aangepast worden: 6500 μF per A. De regelaars voor de kleinere vermogens werken beter bij een kleine belasting dan een zware regelaar. Let bij de montage goed op de verschillende aansluitingen van de positieve en de negatieve regelaars!



Figuur 7-5. Netvoeding 2 x 18 V/1 A

7.2.9 Nauwkeurige spanning en/of groot vermogen

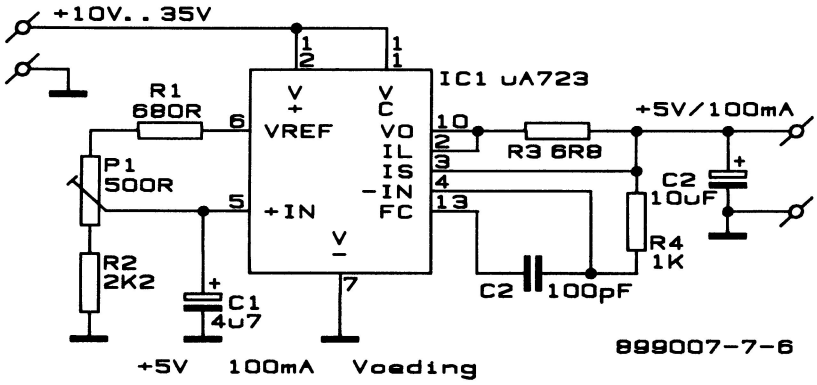
Voor analoge schakelingen is het gebruik van een beter geregelde voedingsspanning aan te bevelen. Zeker als er met meer dan 8-bits resolutie gewerkt wordt moet een bijpassende kwaliteitsvoeding worden gebruikt. Gelukkig zijn daar ook twee standaard-IC's voor verkrijgbaar. Hier wordt gewerkt met de μA723 voor positieve spanningen en de LM325 voor bipolaire voedingen. Het is ook mogelijk om de centrale voeding op +15 V en -15 V te laten werken. De LM326 kan dan voor een plaatselijke nauwkeurige +12 V en -12 V gebruikt worden. De analoge schakelingen werken daar ook prima mee.

7.2.9.1 Nauwkeurige positieve spanning

Er zijn twee voedingsschema's met de μA723 opgenomen. De μA723 is ontwikkeld door Bob Widlow, bekend van de eerste bruikbare IC-opamps. Fairchild Camera & Instrument Corp. introduceerde het IC in 1967. Deze oudgediende is een nauwkeurig instelbare spanningsregelaar, die ondanks het verschijnen van modernere IC's nog steeds gebruikt wordt. Voor stromen tot 150 mA kan het IC direkt worden gebruikt. De stroom veroorzaakt natuurlijk wel interne verwarming en dus spanningsdrift. Voor grotere belastingen moet een externe transistor worden gebruikt. De opgegeven stabiliteit is 0,1 % per 1000 uur en typisch 0,003 % per °C. De twee afgebeelde schakelingen zijn speciaal voor het Mikrosysteem bedoeld; er zijn echter veel meer manieren om dit IC te gebruiken. De ingangsspanning van de μA723 moet tussen 9,5 V en 40 V liggen, bij voorkeur tussen 10 V en 35 V. De minimale uitgangsspanning is 2 V, de maximale 37 V. De hoge minimale ingangsspanning is nodig om de interne referentiespanning van 7,5 V te laten werken, een nadeel van dit IC. De minimale uitgangsspanning van 2 V wordt door de foutversterker bepaald. Het IC kan dus niet gebruikt worden met de standaard +8 V-systeemvoeding. Maar als er geen grote schakelende stroomverbruikers zijn, kan de μA723 op de ongestabiliseerde +12 V-uitgang van de standaardvoeding worden aangesloten.

- Nauwkeurige voeding +5 V/100 mA

Deze schakeling is heel geschikt voor het voeden van schakelingen, die nogal gevoelig zijn voor de kwaliteit van de voedingsspanning, zoals bijvoorbeeld een LM331-spanning/frekwentie-omzetter. Voor het voeden van sensorschakelingen is een stabiele spanning vaak ook van groot belang. De maximale dissipatie van de plastic dip-uitvoering van de μA723 is 660 mW. Aangezien de chip nogal warm zal worden, beperken we de maximale uitgangsstroom tot 100 mA. De uitgangsstroom wordt met R3 (zie figuur 7-6) ingesteld ($R = 0{,}65 / I_{max}$). Het IC gebruikt zelf ca. 4 mA. Vref is typisch 7,15 V en zal zeker tussen 6,80 V en 7,50 V liggen. De uitgang is binnen ±0,5 mV stabiel. Om een uitgangsspanning van +5 V te bereiken moet de referentiespanning eerst gedeeld worden; dit gebeurt met R1, R2 en P1. Met P1 wordt de referentiespanning afgeregeld, dus ook de uitgangsspanning. De rimpelonderdrukking is zonder C1 typisch 74 dB



Figuur 7-6. Nauwkeurige +5 V/100 mA-voeding

en met C1 86 dB. Voor een optimaal temperatuurgedrag moet gelden:
R4 = (R1·R2) / (R1+R2). De stroom wordt bij deze schakeling lineair begrensd volgens de formule $V_{uit} = V_{sense} / R3$. Voor V_{sense} kan 0,65 V bij 25°C worden genomen, bij 0°C is dat 0,7 V en bij 50°C 0,6 V. Om oscilleren te voorkomen moet over de uitgang een elko van 10 μF worden aangesloten.

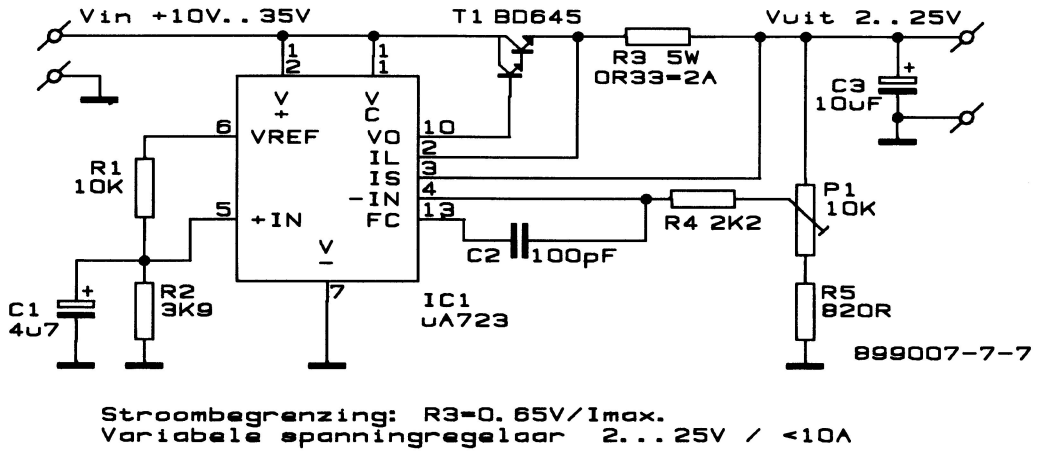
- Regelbare voeding +2..+25 V / 2 A (≤10 A)

Door de uitbreiding met een transistor kan deze schakeling veel meer vermogen leveren. Omdat het IC maar 100 mA basisstroom kan leveren, is de versterkingsfaktor van de transistor belangrijk. Met de BD645 kan met gemak tot 10 A gewerkt worden. Een BD239 kan bij een minimale HFE van 40 dus precies met de maximaal 4 A gebruikt worden. Bij een t.o.v. de uitgangsspanning hoge ingangsspanning moet de transistor nogal wat vermogen dissiperen. De transistor moet daarom goed gekoeld worden. De uitgangsstroom is in dit schema met een waarde voor R3 van 0,33 Ω op maximaal 2 A ingesteld. Voor grotere maximale belastingen kan R3 aangepast worden. De uitgangsspanning is met P1 over een groot bereik regelbaar. Als de laagste uitgangsspanning niet beneden 7 V hoeft te komen, kan pin 5 met pin 6 worden verbonden; R1, R2 en C1 vervallen dan. Bij de opzet mèt deze drie onderdelen is een laagste spanning van 2 V ingestelbaar, lager gaat niet.

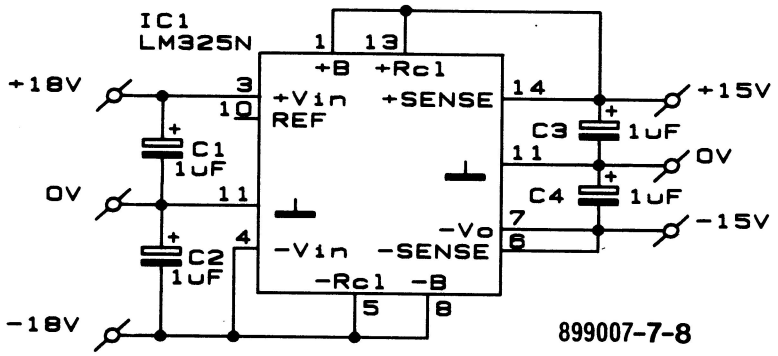
7.2.9.2 Nauwkeurige symmetrische voeding
Negatieve voedingsspanningen worden binnen het Mikrosysteem bijna alleen gebruikt voor bipolaire voedingen. Dat wil zeggen dat er tegelijk een even grote negatieve als positieve voedingsspanning aanwezig is. Dit komt bijvoorbeeld bij de nauwkeurige opamps, v/f-omzetters en sensoren voor. Voor een dergelijke toepassing is het van belang dat die beide spanningen zo goed mogelijk symmetrisch zijn. Daarvoor bestaan speciale IC's. Hier wordt de LM325 gebruikt. Er zijn twee schakelingen opgenomen.

- ±15 V/100 mA-voeding

Deze simpele voeding is bijzonder geschikt om kritische schakelingen te voeden. De uitgangsstroom van maximaal 100 mA is genoeg voor de meeste toepassingen met slechts een paar IC's, zoals de VFC100-v/f-omzetter of AMP01-instrumentatieversterker. Deze schakeling is veel beter dan de kombinatie 78LXX plus 79LXX. De uitgangsspanning van de LM325N ligt tussen 14,5 V en 15,5 V. De beide spanningen zijn binnen ±300 mV of beter symmetrisch. De ingangsspanning moet tussen ±17 V en ±30 V liggen. Het IC gebruikt zelf 3 mA. De uitgangsspanning is bij 18 V in en 20 mA belasting binnen maximaal ±10 mV en typisch ±2 mV stabiel. Bij een belastingsvariatie van 0 mA tot 50 mA verandert de spanning maximaal 10 mV, typisch 5 mV. Bij 260 mA begint de interne stroombegrenzing in ieder geval te werken, de



Figuur 7-7. Instelbare voeding 2..25V, de uitgangsstroom kan afhankelijk van R3 maximaal 10 A-bedragen.



Figuur 7-8. Symmetrische voeding ±15 V/100 mA

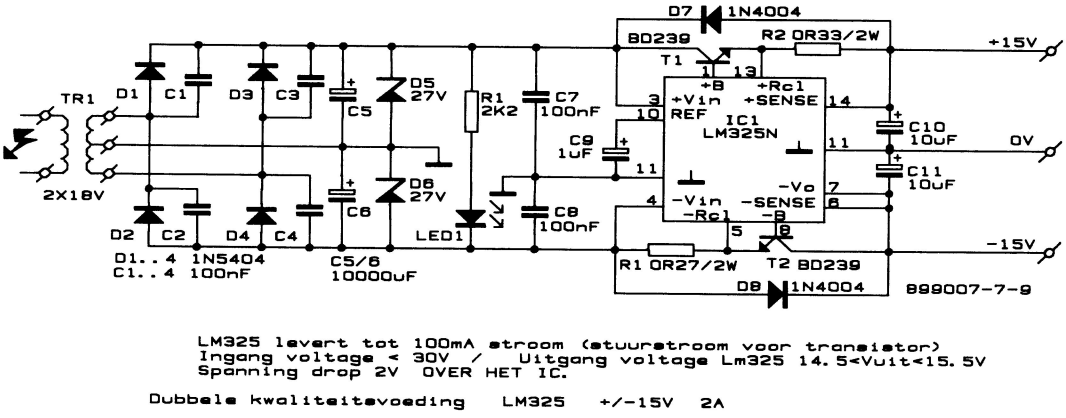
stroom kan beter tot 100 mA beperkt blijven. De maximale dissipatie is 1 W voor de plastic dipversie.

- ±15 V/2 A-voeding

De LM325 kan ook met transistoren uitgebreid worden om een grotere uitgangsstroom te leveren. De stroomversterkingsfaktor van de transistor is ook hier de beperkende faktor. Een nauwkeurige dubbele voeding hoeft meestal niet zo veel stroom te leveren. Daarom is hier gebruik gemaakt van de BD239, die tot 4 A kan verwerken. Met R1 en R2 is de stroombegrenzing op 2 A ingesteld. Let op dat R1 en R2 niet gelijk zijn. De spanning over de weerstanden waarbij de stroombegrenzing gaat werken, is bij 25°C voor de positieve regelaar ca. 0,6 V en voor de negatieve regelaar ca. 0,7 V. De afgebeelde grafieken (7-X6) laten zien hoe dat met de temperatuur verandert. De waarde van R1 en R2 moet met de wet van Ohm berekend worden.

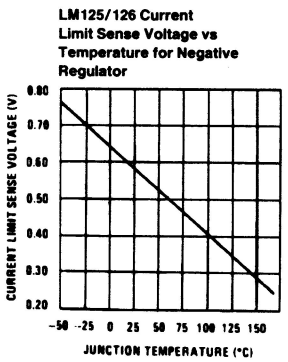
7.2.10 Gelijkspanningsomzetting

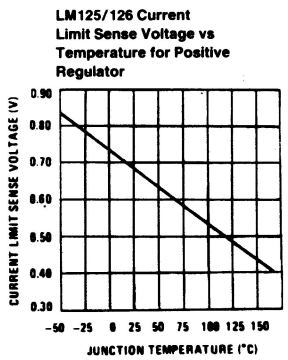
Soms wordt maar op één plaats een negatieve voedingsspanning verlangd. Die hoeft dan vaak ook nog maar weinig stroom te leveren. We kunnen dan die spanning ter plekke maken. Dat gaat volgens het principe dat eerst van de gelijkspanning een wisselspanning wordt gemaakt. Daarna wordt die wisselspanning weer gelijkgericht, eventueel via een spanningsverdubbelaar. Een dergelijke schakeling kan op veel manieren opgebouwd worden. Toch werkt het lang altijd niet zo goed als de eenvoud van het verhaal zou doen ver-



Figuur 7-9. Symmetrische kwaliteitsvoeding ±15 V/2 A, zie voor de schakeling aan de primaire zijde van de trafo figuur 7-5.

wachten. Een bekend IC voor dit doel is de TL497. Hiermee kan een redelijk resultaat bereikt worden; de ingangsspanning en de belastingsstroom moeten daarvoor vastliggen. Bij gebruik van de TL497 moet ook gelet worden op de mogelijke storing die de oscillator veroorzaakt. Vooral als er analoge elektronica in de buurt zit is dat lastig (sensors, A/D, D/A, modem, enz). Het is dan beter om geen spanningskonversie toe te passen. Maar in batterijgevoede apparatuur is het soms wel heel nuttig.





Figuur 7-X6. De aanspreekspanning van de stroombegrenzing is sterk temperatuurafhankelijk. Hiermee wordt bereikt dat de beschikbare uitgangsstroom bij stijgende temperatuur automatisch afneemt. Zoals de karakteristieken laten zien, ligt de aanspreekspanning van de negatieve regelaar lager dan die bij de positieve regelaar.

Een ander interessant IC voor dit doel is de Intersil ICL7680; hiermee wordt +5 V in −15 V en +15 V omgezet.

7.2.10.1 De schakeling

Er is hier maar één schema met een TL497 afgebeeld: het omzetten van een positieve in een negatieve spanning. De uitgangsspanning wordt met de spanningsdeler R2 en R3 ingesteld. De regelaar werkt zo dat er 1,2 V over R3 zal staan. Weerstand R1 zorgt voor de stroombegrenzing. Hier is deze ingesteld op 125 mA. De storing op het uitgangssignaal is volgens de metingen erger dan dat het volgens de berekeningen, zoals hierna, zou moeten zijn. De storing is ook sterk afhankelijk van de belasting en de ingangsspanning. Let op de warmteontwikkeling bij een hoge ingangsspanning. Vergeet niet de beide massa's te verbinden. Zonder verder op de achtergronden in te gaan volgen nu enige formules om de komponentwaarden voor andere ingangsspanningen, uitgangsspanningen en stromen uit te rekenen.

Eerst wordt de piekstroom berekend:

$I_{pk} = 2 \cdot I_{load} \cdot [1 + |V_{out}|/V_{in}]$

Voorbeeld:

$I_{pk} = 2 \cdot 0{,}125 \cdot [1 + -5|/5] = 0{,}25 \cdot [1+1] = 0{,}5$ A

(0,5 A is de maximale Ipk voor de schakeling)

Dan wordt de spoel berekend. Daarbij moet de aan-tijd van de oscillator tussen 25 μs en 150 μs komen te liggen.

$L(\mu H) = V_{in}/I_{pk} \cdot T_{on}(\mu s)$

Voorbeeld: $L = 5/0{,}5 \cdot T_{on}$; kies T_{on} 47 μs, dan $L = 10 \cdot 47 = 500 \approx 470$ μH.

De kondensator Ct, in pF, moet ongeveer twaalf keer Ton (in μs), zijn

Voorbeeld: $C1 \approx 12 \cdot 47\ \mu s = 564$ pF $\approx$ 560 pF

$R2 = (V_o ut\text{-}1{,}2) \cdot 1000$

Voorbeeld $R2 = (5\text{-}1{,}2) \cdot 1000 = 3{,}8$ kΩ. De E12-waarde is 3,9 kΩ Stroombegrenzing R1 is 0,5 V, gedeeld door Ipk, $R1 = 0{,}5/I_{pk}$

Voorbeeld: $R1 = 0{,}5/0{,}5 = 1\ \Omega$

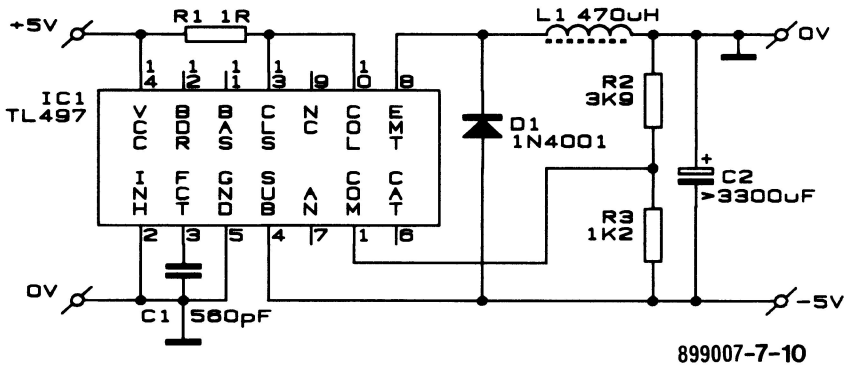
De uitgangskondensator bepaalt de rimpelspanning,

$C_{uit}(\mu F) \approx T_{on}[(V_{in}/|V_{out}|) \cdot I_{pk} + I_{load}]/V_{rimpel(tt)}$

Voorbeeld:

$C2 \approx 47 \cdot [(5/-5|) \cdot 0{,}5 + 0{,}125]/$
$V_{rimpel} \approx 30/V_{rimpel}$

Voor een rimpel van 0,01 V dus al 3000 μF; E12-waarde 3300 μF

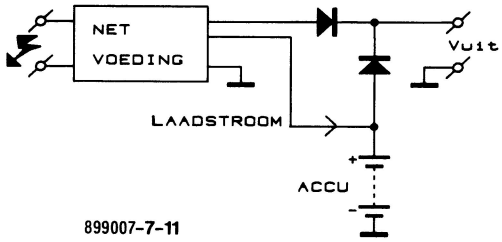


7-10. Spanningsomzetter van +5 V naar −5 V.

7.2.11 Kontinu-voeding

Bij professionele meet- en regeltoepassingen is het altijd verstandig een kontinu-voeding te gebruiken. Daarvoor wordt een akku gebruikt die inspringt als de voeding via het lichtnet uitvalt. Twee dioden lossen dit prima op. De schakeling moet ook zorgen dat de akku geladen blijft en niet overladen wordt. Het gaat echter te ver om dat hier te beschrijven. Van bijvoorbeeld Intersil is een speciaal IC beschikbaar om dit goed op te lossen, ICL7673 automatic battery back-up switch.

Als een systeem werkelijk 24 uur per dag foutvrij moet werken, moeten er meer voorzieningen getroffen worden. Eén daarvan is een zogenaamde 'watchdog timer'. Daarvoor moet het programma regelmatig een uitvoerpoort aktiveren. Deze poort is verbonden met een circuit dat opmerkt als er gedurende een bepaalde tijd geen puls is binnen gekomen. Met dat signaal kan een noodcireuit en/of alarm gestart worden. Hiervoor wordt vaak een hertriggerbare monostabiele timer gebruikt. Zie deel 2 voor meer info daarover. Met zo'n schakeling wordt dus een storing gesignaleerd in het funktioneren van de computer of het programma. Het ontwerpen van werkelijk kontinu funktionerende systemen is een uitdaging op zich.



Figuur 7-11. Het principe van een kontinuvoeding is zeer eenvoudig. Vrijwel iedere PC bevat een dergelijke schakeling t.b.v. de real time clock. Zodra de voedingsspanning wegvalt zal de akku het overnemen.

8. Bijlagen

8.1 Definities

De betekenis die de volgende woorden in dit boek hebben is:
– Processor en microprocessor: Een geïntegreerd circuit (IC) dat een instruktie- en dataverwerkingseenheid vormt.
– Familie processoren: Een groep processoren met vrijwel gelijke manier van aansluiten van randschakelingen (dezelfde timing en kontrolesignalen op de bus) en met een instruktieset die sterke overeenkomsten vertoont.
– Computer = een apparaat dat gebruik maakt van één of meerdere processoren.
– CPU: De belangrijkste processor in de computer (Central Processing Unit). De CPU is de baas over de bus.
– Bus: Een aantal parallel lopende signaallijnen waar een aantal schakelingen parallel op worden aangesloten.
– Peripheral = periferie = buitenkant. Periferie-IC's zijn IC's voor de "buitenwereld"; we gebruiken ze in interfaceschakelingen.
– Interface = verbinding, bemiddelaar, tussenligger, koppeling. Een interface is bedoeld om iets op de computer aan te kunnen sluiten.
– Actuator = bekrachtiger, uitvoerder. Een onderdeel of schakeling waarmee een uitgaand computersignaal omgezet wordt in een passende aktie.
– Sensor = voeler. Onderdeel waarmee een te meten grootheid omgezet wordt in een elektrisch signaal.

8.2 Standaard-notatie

* Een minteken voor de signaalnaam geeft aan dat het signaal laag aktief is. –Signaal = laag aktief signaal

* In dit boek worden de volgende schrijfwijzen voor getallen gebruikt:

XXXXXd geeft een decimaal getal aan, als dat niet al zonder meer duidelijk is. Dus een getal zonder meer is ook een decimaal getal. Bijvoorbeeld 0d, 65536d, 35987d is gelijk aan 0, 65536 en 35987.

XXXXh geeft een hexadecimaal getal aan. Bijvoorbeeld 0000h, FFFFh, FC93h. Elke plaats kan 16 verschillende waarden aangeven, 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F. Met twee digits kan zo een 8-bits woord worden weergegeven.

* In de schema's worden de jumpers die normaalgesproken gesloten zijn, als doorverbindingen aangegeven.

8.3 De programma's

Een I/O-systeem doet natuurlijk pas wat als het door een programma bestuurd wordt. Eén van de redenen dat zelfbouw van meet- en regel-systemen zin heeft, is dat er geen kant en klaar oplossing geleverd kan worden. Het zal altijd uit modules bestaan die door de gebruiker samengesteld moeten worden. Ook al zal die het niet zelf bouwen, er zal altijd meer begrip voor nodig zijn dan voor het aansluiten van een printer of modem. Zo is het ook met de programma's. In de meeste gevallen zal een meet- en regelsysteem pas goed funktioneren met een speciaal geschreven programma. Voor meet- en regelwerk met de IBM-PC/AT-computers bestaan overigens steeds meer modulaire programma's. Daarmee kunnen meet- en regelprogramma's voor een toepassing opgebouwd worden. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van interne kaarten of externe apparaten. Vaak beschikken die programma's ook over de mogelijkheid om via een RS232-verbinding te werken. Door het Mikrosysteem samen met een microcontroller, zoals de 8052, te gebruiken kan die software gebruikt worden. Op deze manier kan snel en betrouwbaar data in bijvoorbeeld Lotus 123® ingelezen worden. Met het programma LabWindows van National Instruments kan op eenvoudige wijze code voor Quickbasic en C gegenereerd worden. Zelf een I/O-systeem maken betekent dan eigenlijk ook altijd: zelf een programma schrijven.

Het programmeren blijkt overigens maar voor een klein deel van de tijd te bestaan uit het produceren van (machine-) kode. De meeste tijd gaat zitten in het opstellen van de

specifikatie, het produceren van dokumentatie en het onderhouden van het programma. Toch gaat de eerste gedachte bij het woord programmeren altijd uit naar het produceren van kode, wat natuurlijk ook het primaire tastbare eindresultaat is. Maar een programma zonder goede dokumentatie, waaronder een duidelijke omschrijving van de doelstellingen, is eigenlijk niet bruikbaar. Bij onderhoud wordt aan twee dingen gedacht. Ten eerste het korrigeren van fouten in de kode of in de specifikatie, met alle gevolgen voor de kode. En ten tweede het aanpassen van de specifikatie en dus de kode, naar aanleiding van veranderde eisen vanuit de praktijk. Van een goed programma mag verwacht worden dat het goed aan te passen valt aan de onvermijdelijk groeiende eisen van de gebruiker.
De theorie van het programmeren is nog beperkt tot een samenstel van regels voor "goed" programmeren. Het programmeren bestaat tegenwoordig nog uit het volgen van deze "goede gewoontes" en het daarna uitproberen of het programma ook goed werkt en tegen misbruik bestand is. Vooral misbruik kan de programmeur voor onaangename problemen stellen. Omdat er altijd meer manieren tot misbruik bestaan dan eerst wordt aangenomen, is dat probleem ook vaak groter dan in het begin door de programmeur wordt gedacht. Een goed programma zorgt dan ook voortdurend voor kontrole op de invoer en moet tegen misbruik bestand zijn.

8.3.1 Betrouwbaarheid

De doelstelling van het programmeren is het schrijven van een altijd betrouwbaar werkend programma dat alles doet wat nodig is voor de bedoelde taak. Niet minder maar ook niet meer, elke kode die niet noodzakelijk is, is een extra bron van fouten. Een handicap daarbij is het feit dat het meten en aantonen van de betrouwbaarheid van een programma zeer moeilijk, zo niet onmogelijk is. Het is snel in te zien dat het programma in bijvoorbeeld de space shuttle en de moderne vliegtuigen goed moet werken. Maar ook een robot die door een technicus ter plekke wordt afgeregeld mag geen plotselinge foute bewegingen maken! De gedachte dat het allemaal wel mee zal vallen is volkomen onterecht. Wat te denken van een bestralingsapparaat in een Amerikaans ziekenhuis waar doden door een programmafout zijn gevallen. Bij een te hoge stralingsdosis verzuimde het programma om een beschermingsschild op de goede plaats te schuiven. Als een space shuttle omhoog gaat zijn er altijd nog wel een aantal protesten vanuit de computers; als die niet belangrijk genoeg zijn wordt er gevlogen.
Het grote probleem is dat de betrouwbaarheid van een programma niet zoals bij hardware een wiskundige relatie vertoont met een groot aantal proeven die met de aparte onderdelen zijn genomen. De betrouwbaarheid van elektronische onderdelen is over het algemeen bij de leverancier bekend en wordt volgens normen opgegeven die algemeen gebruikt worden. De betrouwbaarheid van een systeem is dan af te leiden uit de betrouwbaarheid van de gebruikte komponenten. In kritische gevallen worden meerdere komponenten voor één funktie gebruikt. Ook de belasting van de onderdelen wordt dan ruim binnen de grenzen gehouden. Bij programma's werkt dat niet. Programmafouten vertonen, voor wat de praktische beschouwing betreft, een toevalskarakter. Een onderzoek door Ed Adams bij IBM in York Town USA naar het funktioneren van een oud besturingssysteem bracht interessante zaken aan het licht. Sommige fouten traden eens per 18 maanden op, meer dan een derde van de fouten hadden een kans van optreden van eens per 5000 werkjaren! Met wiskundige technieken kan in een aantal gevallen de betrouwbaarheid van een stukje kode bewezen worden. Het benodigde testprogramma is echter over het algemeen ongeveer tien keer zo lang als de oorspronkelijke kode, met alle kansen op fouten in het testprogramma. Deze methode wordt gebruikt voor programma's van ten hoogste 500 regels. Daarmee wordt wel een bijdrage de betrouwbaarheid geleverd. Maar er kan niet mee worden bewezen dat een programma volkomen doet wat er van verlangd wordt. Voor programma's met floating point berekeningen werkt het nu nog helemaal niet. Uiteraard zal deze techniek zich verder ontwikkelen, al was het maar omdat er grote behoefte aan is.

De kwaliteit van de probleemanalyse, die aan het programmeren vooraf gaat, is daarmee natuurlijk niet te testen en daar zit nu juist ook een grote kans op fouten. Want één van de grootste problemen bij het schrijven van een programma is het beschrijven van wat het wel en niet moet doen, vergeet vooral dat

laatste niet! Als dat lukt, is men al een eind op de goede weg. Het punt is dat men goed moet waarnemen wat het systeem moet doen om het daarna eenduidig te omschrijven. Een speciale klasse van fouten zijn de ''tijd'' fouten. Een meet- en regelsysteem moet vaak binnen een bepaalde tijd op bepaalde gebeurtenissen kunnen reageren. Stel dat door een samenloop van omstandigheden bij een bepaald proces de temperatuur oploopt boven de toegestane waarde. Als er nu een langzame berekeningsroutine in het programma zit om de uitgangswaarde van de temperatuursensor om te rekenen, kunnen er fatale dingen gebeuren. Op zich was de probleem analyse goed, de kode loopt zonder operationele problemen en toch gaat het fout. Dan spreken we nog niet van verschillende processen die allemaal tegelijk lopen en waarvan er meerdere tegelijk kritisch worden. In al deze gevallen moet dus in de echte tijd ''real time'' gewerkt worden. Om dat te doen wordt vaak met interrupts gewerkt, waarmee het programma op een nieuw plan van komplexiteit en mogelijke fouten komt. Voor dat werk kan een ''real time operating system – RTOS'' gebruikt worden. MS-DOS is daarom bijvoorbeeld niet geschikt voor echte meet- en regelsystemen.
Dat de fouten uit alle hoeken kunnen komen mag wel blijken uit het feit dat een goed geschreven programma altijd nog fouten door de compiler kan oplopen. Compilers zijn zo groot dat ze (nu nog) niet met wiskundige technieken gekontroleerd kunnen worden. Zelfs het CPU-IC doet soms niet, wat het moet doen. Bij de 80386 van Intel werd pas na een behoorlijke produktie duidelijk, dat een 32-bits rekenkundige operatie niet goed werkte. Deze produktiefout is daarna hersteld.
Als een taak echt heel belangrijk is, wordt er een zeer speciale aanpak verlangd. De taak wordt dan parallel door een oneven aantal computers verricht. Deze computers zijn van verschillend fabrikaat, of op zijn minst van verschillende produktiegangen (batches). Op die computers lopen programma's die door verschillende teams volkomen onafhankelijk zijn geschreven. Deze aparte computers leveren allemaal een beslissing af, daarna wordt demokratisch gekozen welke aktie ondernomen wordt. Deze techniek is onder andere voor de Space Shuttle en de Airbus A320 gebruikt. Helaas blijkt dat deze aanpak ook niet 100% werkt. Uit onderzoek is gebleken dat de neiging bestaat dat bepaalde routines door iedereen fout worden gemaakt. Dat kan bijvoorbeeld gebeuren doordat de gewenste aktie moeilijk te analyseren is en niemand een bepaalde situatie heeft voorzien die toch optreedt. Bijvoorbeeld een piloot die een demonstratievlucht wil maken op een manier waarop normaal nooit gevlogen wordt. Recent onderzoek heeft aangetoond dat de routines meer verschillen als de teams elk een andere taal en een ander algoritme gebruiken. De fout-tolerantie zou dan dus groter zijn.
De huidige bestaande veiligheidsnormen op het gebied van programma's zijn geen echte normen. Het zijn slechts regels voor goede gewoontes. Ook de EUROCAE-ED/12A-norm, die voor vliegtuigen wordt gebruikt bestaat slechts uit aanbevelingen. Ze zijn geen garantie voor goed funktioneren!

8.3.1.1 CASE
Op het gebied van de automatisering van het schrijven en testen van programma's is de laatste tijd veel ontwikkeling te zien. Het woord is hier CASE, Computer Aided Software Engineering. Onder deze fraaie noemer kunnen alle programma's die bijdragen tot het ontwikkelen van programma's worden gevangen. Ook de bekende compilers, editors, library managers, enzovoorts vallen hieronder. Belangrijk daarbij is de opkomst van komplete programma-ontwikkelomgevingen. Daarbij wordt vanaf de opstelling van de specifikatie tot en met het onderhoud van het programma alles binnen één werkomgeving gedaan. Daaronder vallen dus onder andere het beheer van de standaard-programma's (library manager), het beheren van de versies, de dokumentatie-generatie, de kode-generatie, het testen, etc. In een aantal gevallen wordt ook niet meer met tekstdefinities gewerkt, maar met een grafische voorstelling van het programma. Dat is ook een belangrijke doorbraak voor sommige toepassingsgebieden. Door deze ontwikkeling zal de betrouwbaarheid van programma's toenemen.

8.3.1.2 Optimaliseren van de betrouwbaarheid van een programma
Om de betrouwbaarheid van een programma zo groot mogelijk te maken kan gelukkig wel iets worden gedaan. Daarbij moeten de ge-

bruikelijke stappen voor kwaliteitsverbetering van een produkt worden doorlopen.
1) Er moet een norm gesteld worden.
2) Het funktioneren van het produkt moet tegen de norm afgezet worden en afwijkingen moeten op uniforme wijze gerapporteerd worden.
3) In het produktieproces moeten de konklusies van de analyse van de fouten doorgevoerd worden.
4) Het streven moet bij elke stap van het produktieproces op 0 % fouten liggen.

Bij programma's is dit nogal moeilijk omdat de norm moeilijk vast te stellen is en omdat met tests vaak niet alle situaties die op kunnen treden nagebootst kunnen worden.

Een hulpmiddel bij het opstellen van de eisen en het beoordelen van het funktioneren van een programma is de foutenboom-analyse. Daarbij staat de grootst mogelijke fout aan de top en daaronder volgen steeds de fouten die tot de fout van de bovenliggende laag kunnen leiden. Bij een vliegtuig staat het neerstorten bovenaan. Gevolgd door bijvoorbeeld het uitvallen van de motoren, van de besturing of van de navigatie, enzovoorts. Dat wordt weer gevolgd door het uitvallen of verkeerd werken van de brandstofvoorziening, de sensoren, blusinstallaties, de stroomvoorziening, enzovoorts. Uiteindelijk ontstaat een lijst van alle zaken die alleen of in kombinatie met andere omstandigheden fouten op kunnen leveren. Daar worden dan allerlei maatregelen voor bedacht. Dit is dus van groot belang voor het programma-ontwerp.
Deze analyse kan tijdens het testen gebruikt worden om de tests te specificeren, om eenduidig aan te geven welke fouten optreden en om na te gaan of alle opgetreden fouten voorzien waren.

Om het funktioneren van een programma aan de doelstellingen te toetsen kan het volgende worden gedaan:
* Test het programma onder kondities die zoveel mogelijk lijken op de echte gebruikssituatie.
* Laat die tests door verschillende gebruikers doen.
* Schrijf tijdens het testen de volgorde van handelen en alle fouten die optreden op.
* Houd ook tijdens het uiteindelijke funktioneren een foutrapportage-boekhouding bij.

Analyseer en verwerk de gegevens die van de gebruikers komen regelmatig.
Als resultaat van de voorgaande stappen kunnen de gekonstateerde fouten verbeterd worden. De terugkoppeling vanuit de werksituatie moet in principe altijd doorgaan. Al was het maar omdat de eisen van de gebruiker over het algemeen blijven groeien en veranderen. Ook voor andere programma's die later geschreven moeten worden heeft het natuurlijk waarde om systematisch de prestaties van eerder geproduceerde programma's te volgen.
Het is te verwachten dat de bekende kommerciële software, die in totaal een zeer groot aantal gebruiksuren heeft, onderhand redelijk vrij van fouten kan zijn. Toch zijn ook de bekende gebruiksprogramma's voor MS-DOS niet volkomen 100% foutvrij. Bij een meet- en regelprogramma voor een unieke toepassing duurt het heel wat jaren voor het totale aantal bedrijfsuren groot genoeg is om op grond daarvan iets over de kwaliteit van het funktioneren te zeggen.
De 0 %-fout-theorie kan ook op programma's worden losgelaten. Daarbij wordt geen enkele onverwachte aktie geaksepteerd, ook als de gevolgen niet belangrijk lijken. Elke routine moet precies doen wat er van verwacht wordt. Alle variabelen binnen het programma moeten na het doorlopen van een routine de gewenste waarden hebben of gehouden hebben. Ook afwijkingen van de eisen in bijvoorbeeld de uitvoer naar het scherm of naar de printer worden niet geaksepteerd maar geanalyseerd.
Een apart probleem is het optreden van fouten door het verbeteren van andere fouten. Om dat te voorkomen is een goede opzet en een goede dokumentatie van het programma en de achterliggende doelstellingen noodzakelijk.

Betrouwbaarheidsgarantie

Als gebruik wordt gemaakt van wiskundige technieken bij het opstellen van een norm voor het funktioneren van het programma en bij het evalueren van de tests, kunnen op den duur uitspraken over de betrouwbaarheid van het programma worden gedaan. Dat het uitvoeren van volledige tests moeilijk is en soms gewoon niet gebeurt, blijkt wel uit de produktie van de Airbus A320-software. Daarvoor zijn gewoon geen tests van het hele systeem gedaan, omdat dat toch onmogelijk is. Als de werksituatie niet goed gereprodu-

ceerd kan worden en er wordt wel getest, is dat nog erger, want dat leidt tot valse verwachtingen van de veiligheid.

8.3.1.3 Intrinsieke veiligheid van een systeem
Een aanvullende benadering van de veiligheid van een systeem is meer hardwarematig gericht. Daarbij is de veiligheid in het systeem ingebouwd, intrinsiek veilig zoals dat in mooie termen heet. De computer wordt gebruikt om het proces te besturen en te bewaken, maar laat de essentiële bewaking over aan de hardware. Bij een robot kan een noodstop-schakelaar aan het programma melden dat er aktie verlangd wordt. Het programma moet dan bijvoorbeeld een motor uitzetten. Dit is geen goede oplossing. Een noodstop moet zelf rechtstreeks aktie kunnen ondernemen. Die aktie moet natuurlijk wel aan de computer worden gemeld. Ook als de computer in allerlei interrupt-avonturen verzeild is geraakt en geen aandacht voor die noodstop heeft, moeten de veiligheidsvoorzieningen direkt werken. Denk ook na wat er gebeurt als de computer uitvalt. Er mogen dan geen plotselinge akties worden ondernomen, motoren gaan lopen of andere dingen gebeuren die onveilig zijn. In kritische gevallen moet ook op onderbreking van de hoofdvoeding worden gereageerd door een systeem gekontroleerd af te sluiten. Dat vraagt speciale voorzieningen in het programma. Het hele meet- en regelsysteem moet dan natuurlijk wel op een noodstroomvoorziening werken, hetgeen ook al weer een hardwarevoorwaarde voor veiligheid is. Ook al werken we graag met computers, het heeft geen zin de techniek verder te vertrouwen dan verstandig is. Ook zonder overdreven vertrouwen is een computer een nuttig ding, dat niet meer weg te denken valt. En daarbij is het van belang dat de techniek op de juiste manier wordt toegepast.

8.3.2 Talen

De programma's kunnen uiteraard in elke taal die I/O-akties ondersteunt geschreven worden. Het meest in aanmerking komen:

– Basic. Basic is de bekendste taal; de eerste microcomputers maakten er al gebruik van. De meeste mensen beginnen nog steeds met Basic. Door de komst van de nieuwe gestruktureerde Basic's is veel reden voor kritiek op Basic weg genomen. De meeste Basic's kunnen met extra statements in machinetaal uitgebreid worden. Microsoft Basic is de bekendste Basic en vormt een soort standaard. Ze werd in de eerste microcomputers van South West Technical Products toegepast. In een later interview heeft de toenmalige SWTP-direkteur eens gezegd dat het zijn grootste fout was geweest om niet zelf een Basic te brengen. De MSX-versie kan in ROM gezet worden en eenvoudig met extra statements uitgebreid worden. De Microsoft QuickBasic- en Borland Turbo Basic-compilers voor MS-DOS zijn uitgebreide, snelle en goed hanteerbare Basic-compilers.

Zelfs voor de Atari-ST is een ROM-cartridge met een Microsoft-compatible Basic verkrijgbaar (Fast-Basic). De meeste huiscomputers hebben jammergenoeg allemaal verschillende eigen Basic's. Alleen daarom is het al onbegonnen werk uitgebreide programma's te beschrijven. Er kan op twee manieren gewerkt worden. Met een interpreter of een compiler. Een interpreter vertaalt de Basic in machinekode terwijl het programma loopt. De interpreter is dus aktief terwijl het programma draait. Een compiler zet een Basic-programma eenmalig om in machinekode. Als het programma loopt is de compiler niet nodig. Een gekompileerd programma loopt snel, een interpreter is handig om programma's mee te schrijven. QuickBasic en Turbo Basic zijn compilers die van een dusdanig gebruikersinterface voorzien zijn dat het tijdens het schrijven van het programma lijkt alsof het een interpreter is, terwijl er uiteindelijk zelfstandige machinekode uitkomt.
De 8052AH Basic-microcontroller maakt het mogelijk om ook nog met microcontrollers en Basic te werken. De 8052AH-Basic voorziet in interrupt-reaktie en er kunnen meerdere Basic-programma's tegelijk in de programma-EPROM aanwezig zijn. De Basic in de microcontroller maakt het mogelijk om de Basic-programma's direkt in EPROM te zetten. Een ideale mogelijkheid om met Basic verder te komen dan de huiscomputer.
Voor wat betreft de invoer- en uitvoeropdrachten kan er onderscheid worden gemaakt tussen twee hoofdgroepen Basic-dialekten.
De Basic's voor de 8XXX-machines beschikken vrijwel altijd over opdrachten met IN- en OUT-instrukties. Dat hangt samen met het feit dat dit I/O-mapped-CPU's zijn. Daardoor kent de CPU verschillende instruk-

ties voor het werken met geheugen en invoer/uitvoer.

lees: X=IN(adres) of X=INP(adres)
schrijf: OUT adres, waarde

De Basic's voor de 6XXX-machines vertonen minder overeenkomst in hun syntax dan die voor de 8XXX. Maar het is altijd een vorm van PEEK of POKE. Dat komt omdat de I/O en het geheugen in één adresgebied vallen en met dezelfde instrukties bereikt moeten worden.

lees: X = PEEK (adres)
schrijf POKE adres, waarde

– Machinetaal. De primaire CPU-taal waar alle programma's uiteindelijk op een of andere wijze naartoe vertaald worden. In het algemeen wordt gezegd dat men in machinetaal werkt als er een assembler gebruikt wordt. Een assembler is eigenlijk een compiler die net als bijvoorbeeld Basic een machinetaalprogramma aflevert. Het verschil tussen een assembler en de andere computertalen zit in de struktuur van de assembler. Deze volgt de machinetaal nauwgezet. In feite worden de machinetaal-opdrachten beschreven door symbolische opdrachten die vaak bestaan uit ''onthoudbare'' (mnemonics) afkortingen voor de machinetaalfunktie (in het Engels uiteraard). Verder voorziet de assembler nog in meer of minder mogelijkheden om de tekst van het programma te manipuleren, een editor. Het grote punt is dus dat er bij een assembler geen hexadecimale kode maar enigszins begrijpelijke 'mnemonics', de afkortingen voor de instrukties, worden gebruikt. Na het kompileren ontstaat machinekode die precies doet wat de gebruiker wil. Als een andere, hogere, taal wordt gebruikt zitten er meer of minder omwegen in de kode, die door de gebruikte taal ontstaan. Voor het gemak noemen wij het werken met een assembler ook werken in machinetaal.

Machinetaal is uiteraard de meest geschikte taal voor snelle I/O-akties en flexibele interrupt-afhandeling. Veel mensen hebben een grote afstand tot machinetaal, assemblers, enz. Voor heel veel meet- en regelwerk is de snelheid van machinetaal absoluut niet nodig. Het is dan ook zeker niet verplicht om met invoer/uitvoerschakelingen uiteindelijk in machinetaal te gaan werken. Als machinetaal gemakkelijk en goed hanteerbaar was, bestond de grote behoefte aan de andere talen niet. Een goede tussenweg bestaat uit het schrijven van kleine machinetaalroutines voor de snelle I/O, die met een Basic of andere hogere programmeertaal samen werken.

– Forth. Een speciaal voor besturing geschreven taal. De public domain FIG Forth-83 is een goede standaard. (FIG - Forth Interest Group). Forth leent zich erg goed voor een modulaire opbouw.

– Pascal. Door de Nederlandse informatica-opleidingen en het bestaan van Borlands Turbo Pascal bestaat er een grote groep enthousiaste Pascal-programmeurs in Nederland. Door de beschikbare I/O-kommando's prima geschikt.

– Andere talen. Hetzelfde geldt voor C en alle andere talen die I/O-akties ondersteunen, bijvoorbeeld Turbo Prolog. Als iemand een bepaalde taal beheerst en die taal is geschikt voor het werk, dan is dat de meest voor de hand liggende taal om mee te werken. Voor elk karwei kan een bepaalde taal het meest geschikt zijn, slechts zelden zal het doel met maar één taal bereikt kunnen worden.

8.3.3 Microcontrollers

Voor de 805X-familie microcontrollers bestaat een groeiende hoeveelheid ontwikkelingssoftware. Met name pakketten om te gebruiken op een MS-DOS-computer. In de eerste plaats zijn er de twee Intel-ontwikkelsystemen, de PL/M 51-compiler en de 8051 makro-assembler met bijbehorende RL51-linker/relocator en LIB51-librarian. Van bijvoorbeeld Avocet is ook een assembler beschikbaar, de AVMAC51. De AVSIM51 is een 8051-simulator op de PC. Van diverse leveranciers zijn ook cross-assemblers vanuit hogere talen beschikbaar. Bijvoorbeeld de Pascal- of de C-compilers van diverse leveranciers. Deze pakketten zijn echter allemaal nogal prijzig. Er bestaan ook goedkope ontwikkelprogramma's. Bijvoorbeeld de cross-assembler Pseudo-SAM 8031 van PseudoCode, USA. Er bestaan twee versies. Een simpele die bekend staat onder de shareware naam: Intel X-ASM. En een uitgebreide versie die bij PseudoCode besteld kan worden, zie daarvoor de informatie op de shareware-schijf. Verder is er nog een andere shareware cross-assembler, te weten TASM. Dat staat voor table driven assembler.

Voor het grotere ontwikkelwerk wordt ook gebruik gemaakt van ontwikkelhardware.

Een In Circuit Emulator (ICE) is het neusje van de zalm. Maar ook met goedkopere hardware kan al een goed bruikbaar ontwikkelsysteem worden opgebouwd.
Het gebruik van microcontrollers maakt een goede afweging mogelijk tussen de kosten van de apparatuur en de programma-ontwikkeling. Het blijkt dat een kosteneffektieve ontwikkeling van een produkt waarvan kleine aantallen gemaakt worden, een speciale aanpak vraagt. Er kan dan in veel gevallen het beste gekozen worden voor relatief veel (standaard-) hardware met zo min mogelijk (maat-) programmatuur. Meet- en regelsystemen vallen daar vaak ook onder. Met een aantal standaard-microcontrollerkaarten kan op redelijk eenvoudige wijze een multi-processorsysteem worden samengesteld. Het grote voordeel daarvan is dat de software veel minder kritisch is. Elke processor kan met een simpel programma een deel van een komplex geheel meten en regelen, terwijl bij gebruik van één computer met één groot programma, een ingewikkeld interruptgestuurd programma nodig is. De hardwareontwikkeling voor een multiprocessorsysteem is een éénmalige investering. De software kan dan bestaan uit een klein programma voor elke processor. Aan elk van die programma's worden dan geen grote eisen gesteld en ze zullen vaak ook meer 'universeel' zijn, dan één groot specifiek programma. Het foutzoeken is dan ook beduidend eenvoudiger dan bij één groot programma. Een nadeel is dat hardware op den duur defekt kan raken en dat een éénmaal volledig goed werkend programma altijd doordraait. Daar staat tegenover dat er eigenlijk geen grote programma's bestaan die altijd goed werken. De betrouwbaarheid die aan de apparatuur mag worden toegeschreven neemt met de gebruiksuren af, de betrouwbaarheid die aan programmatuur mag worden toegeschreven neemt met de gebruiksuren toe.

8.4 Tips

8.4.1 Solderen

– Voor goed soldeerwerk moet harskernsoldeertin van 60/40-legering (Sn/Pb) en 0,7 mm of maximaal 1 mm doorsnede gebruikt worden. Een soldeerbout van 20 W met fijne punt is goed te gebruiken. Een soldeerstation met instelbare konstante temperatuur is nog beter. Bij montage op een print worden de onderdelen eerst op de print bevestigd en daarna vastgesoldeerd met juist genoeg soldeer. Bij losse montage en verbindingen met draden moeten eerst de te solderen delen schoongemaakt en vertind worden. Dan de onderdelen aan elkaar solderen. Maak onderdelen nooit te warm door de soldeerbout er te lang tegen of te dichtbij te houden. Eventueel kan de warmte afgevoerd worden door de draden tussen soldeerpunt en behuizing van het onderdeel met een pincet of tang vast te houden. Als de soldeer niet wil 'pakken' wordt het alleen maar erger door langer te "stoken". Er is dan een gebrek aan vloeimiddel. Het beste kan het oude tin met een desoldeerpompje of desoldeerlitze weg gehaald worden. Daarna de verbinding opnieuw met harskern-tin solderen. Het tin moet na even verwarmen plotseling uit gaan vloeien, daarna meteen de bout weghalen.
– Soldeerwerk moet *altijd* met de *ogen* gekontroleerd worden. Gebruik daarvoor bijvoorbeeld een postzegelloep die 8 x of 10 x vergroot. Kleine soldeerharen die kortsluiting maken, vergeten soldeerpunten etc. zijn niet alleen een reden dat een schakeling niet werkt, maar ook dat onderdelen al tijdens het proberen stuk kunnen gaan.

– Meet, terwijl de spanning nog niet is aangesloten geweest, met een weerstandsmeter of kontinuïteitstester (doorpieper) of er geen kortsluiting tussen de voedingsingangen zit en of alle onderdelen de goede spanning gaan krijgen.
– Na de eerste kontrole, de voeding aanzetten en dan nog eens met de voltmeter de spanningsverzorging van de IC's kontroleren. Daarna gaan de aktieve onderdelen pas in de voeten, uiteraard terwijl er geen spanning meer op de schakeling staat.
– Achter een "koude las" lijkt met een voltmeter wel een spanning aanwezig, als de zaak belast wordt stort de spanning in. Zo'n punt moet opnieuw, met "verse" tin, gesoldeerd worden. De oorzaak is vaak geen tekort aan soldeer, maar een tekort aan vloeimiddel.
– Bij reparatie kan, als er geen IC-voetjes zijn gebruikt, een niet al te duur, verdacht IC beter niet uitgesoldeerd worden. Bij het uitsolderen van een IC is de kans groot dat de print beschadigd wordt. Een verdacht onderdeel kan er in dat geval beter uitgeknipt worden. Daarna kan er een voet ingezet worden.

Bij zelfbouw als regel voetjes gebruiken. Een voet verhoogt theoretisch wel de kans op storing, maar vergemakkelijkt kontrole en reparatie. Gebruik een goede kwaliteit voetjes, dan zal de storing door de voetjes wel meevallen. Handig zijn de 20 pens breekstrips met gedraaide vergulde IC-kontakten. Met één type heb je dan altijd elke voet op voorraad.
Vastgesoldeerde onderdelen kunnen op de volgende manier verwijderd worden. Knip ze vlak boven de print af. Haal met litzedraad en/of een tinzuigpompje het soldeer weg. Daarna kunnen de resten van de onderdelen met een roestvrij stalen naald uit de gaten geduwd worden. Het soldeer zal niet aan de roestvrij stalen naald hechten. In het algemeen is het een slecht idee om onderdelen te willen redden, dit zal al gauw een print kosten.

8.4.2 Werkwijze bij de montage

Maak vooraf een fotokopie van het schema dat gebouwd gaat worden. Daarop kunnen tijdens het bouwen en testen van de schakeling aantekeningen worden gemaakt.

Voor verbindingen op een (experimenteer)print wordt bij voorkeur massief draad met een diameter van 0,3 mm gebruikt. Getwist soepel draad is al gauw oorzaak van storingen. Als een schakeling helemaal met de hand bedraad wordt is het handig om meerdere kleuren draad systematisch te gebruiken. Hier volgt een voorstel voor het gebruik van die kleuren.

Voeding	+V	rood
	0 V	zwart
DATA		wit
ADRES		geel
KONTROLE		paars of blauw
signalen naar de periferie-IC's:		
TTL		oranje
Drivers		groen

8.4.3 Minimaal gereedschap

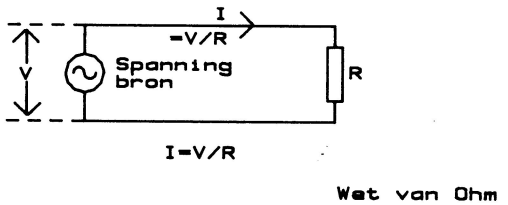
Soldeerbout ca. 20 W of beter een soldeerstation met regelbare temperatuur. Gebruik harskern 60/40-soldeer 0,7 mm of 1 mm.
Een rolletje desoldeerlitzePlatbektang, fijne kniptang en draadstriptang. Een goede kwaliteit draadstriptang is heel handig.
Goede schroevedraaiers maat 00, 0 en 1, plat- en kruiskop
Zelfklemmende pincet
Postzegelloupe, die 8 x tot 10 x vergroot
Universeelmeter, Onmisbaar! Bij voorkeur digitaal
Logische testpen, een onmisbaar stuk gereedschap voor het werken aan digitale systemen.
Verder zijn een oscilloskoop, een regelbare voeding, een pulsgenerator en een frekwentieteller handig maar niet onmisbaar.

8.5 De drie belangrijkste wetten in de elektronica

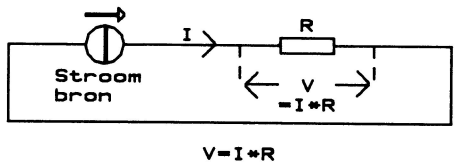
De volgende drie wetten zijn de belangrijkste op het gebied van elektronische circuits. De wet van Ohm beschrijft het gedrag van spanningen en stromen ten opzichte van een onderdeel, dit is de enige formule. De regels van Kirchhoff beschrijven het gedrag van stromen op een knooppunt en van spanningen in een gesloten circuit. Het theorema van Thévenin beschrijft de wijze waarop een signaalbron voorgesteld kan worden. Het woord theorema betekent overigens gewoon: wiskundige stelling.

1) De wet van Ohm
Deze wet definieert de weerstand van een geleider als de verhouding tussen de aangelegde spanning en de stroom die ten gevolge van die spanning door de geleider gaat lopen. Een weerstand is 1Ω als er bij een aangelegde spanning van 1 V een stroom van 1 A gaat lopen. In formule: $R = V/I$.
Men kan ook zeggen dat de spanningsval over een weerstand gelijk is aan het produkt van de stroomsterkte en de weerstandswaarde.
In gewone taal:
* Als er een spanning over een weerstand staat, gaat er een stroom lopen. De stroomsterkte is gelijk aan de spanning gedeeld door de weerstand. $I = V/R$
* Als er een stroom door een weerstand loopt, ontstaat een potentiaalverschil (=spanning) tussen beide einden van de weerstand. De spanning is gelijk aan de stroomsterkte maal de weerstand, $V = I \cdot R$.

Let er op dat een spanning en een weerstand altijd *tussen* twee punten gemeten worden en dat een stroom altijd *door* een punt gemeten wordt. Er staat nooit een spanning op een punt; als dat gezegd wordt bedoelt men een



Figuur 8-1.



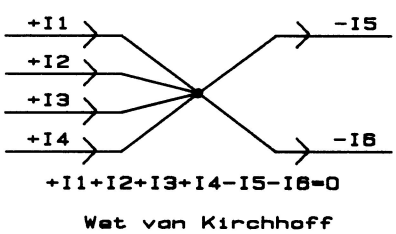
Figuur 8-2.

spanning tussen dat punt en de "aarde". De vraag is dan meteen welke "aarde" bedoeld wordt, zie hoofdstuk 6. Vaak zal het de "massa" zijn.
Voor wisselspanningen en wisselstromen moet met de effektieve waarde gewerkt worden. Bij sinus-golfvormen is dat Veff = Vtt/$\sqrt{2}$ = Vtt/1,414.

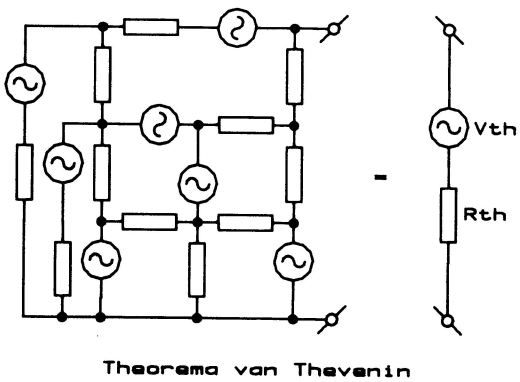
2) De wetten van Kirchhoff
* De eerste wet van Kirchhoff zegt dat de algebraïsche som van de potentiaalverschillen in een gesloten circuit nul is. Dit heet ook de lusregel. Het is een uitwerking van het principe van behoud van energie.
* De tweede wet van Kirchhoff zegt dat de algebraïsche som van alle stromen die in en uit een punt in een circuit vloeien nul is. Dit is in figuur 8-3 weergegeven. Dit heet ook wel de puntregel. Dit is een uitwerking van het principe van behoud van elektrische lading.

3) Het theorema van Thévenin zegt dat ieder willekeurig samenstel van weerstanden, spanningsbronnen en stroombronnen met twee eindaansluitingen, een zogenaamde tweepool, opgevat kan worden als één spanningsbron met één weerstand in serie. Een spanningsbron Vth met een inwendige weerstand Rth. Volgens het theorema van Norton kan een spanningsbron met een inwendige serieweerstand vervangen worden door een stroombron met een inwendige parallelweerstand. Hetzelfde geldt voor een samenstel van stroombronnen en één stroombron met daaraan een weerstand parallel. In het algemeen gezegd:
Een samenstel van bronnen en weerstanden met twee eindaansluitingen (tweepool) kan vervangen worden door een spanningsbron met een serieweerstand of een stroombron met een parallel-weerstand.

Het Thévenin-ekwivalent van het samenstel van spanningsbronnen, Vth, is gelijk aan de gemeten waarde van de onbelaste spanning over het circuit. Het Thévenin-ekwivalent van de weerstand, Rth, is daarna te berekenen aan de hand van de stroomsterkte bij kortsluiting, Rth=Vth/Isluiting. Het is mogelijk om beide te meten, maar berekening is vanzelfsprekend ook mogelijk. Met name het meten van de kortsluitstroom zal overigens vaak op praktische bezwaren stuiten. De



Figuur 8-3.



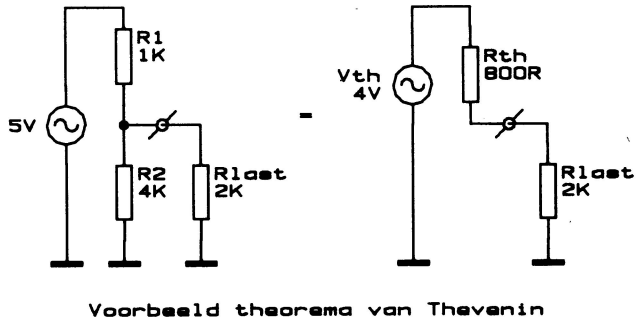
Figuur 8-4. Schematische voorstelling van het theorema van Thévenin

kortsluitstroom is vooral belangrijk voor het theoretische idee. De uitgangsweerstand R_{uit} wordt uit de twee gemeten waarden berekend. Als er met wisselstromen en -spanningen wordt gewerkt en over het gebruikte frekwentiegebied geen belangrijke faseverschuivingen in het circuit plaats vinden, kunnen de genoemde wetten en theorema's ook voor wisselspanningen en stromen zonder meer gebruikt worden. In plaats van over weerstand spreken we dan over impedantie, deze wisselstroomweerstand wordt aangeduid met Z. Treden er wel duidelijke faseverschuivingen op, dan blijven deze wetten en theorema's nog steeds bruikbaar, maar moet van de komplexe rekenwijze of hogere wiskunde gebruik gemaakt worden.
Het kennen van de in- en uitgangsimpedantie van een circuit is belangrijk voor een optimale vermogensoverdracht. Tussen twee trappen moet dan de inwendige weerstand van de uitgang (Z_{uit} of R_{th}) gelijk zijn aan die van de ingang (Z_{in}). Daarom moeten bij zenders de impedanties van zender en antenne overeenkomen. Bij een telefoonlijn worden onder andere daarom de impedanties van de apparatuur en de kabel op elkaar aangepast. Een goede impedantie-aanpassing voorkomt ook reflekties. Voor een optimale spanningsoverdracht, wat meestal de bedoeling is, moet Z_{in} zeer groot zijn ten opzichte van Z_{uit}, $Z_{in} > 10 \cdot Z_{uit}$. Dit is ook de reden dat metingen altijd met een hoge impedantie moeten gebeuren. Bij de meeste schakelingen wordt dit opgelost door met aktieve elektronica voor een hoge ingangs- en een lage uitgangsimpedantie te zorgen. Opamps zijn daarvoor de onderdelen bij uitstek. Voor een optimale stroomoverdracht moet het omgekeerde gebeuren, $Z_{in} >> Z_{uit}$.
De ingangsimpedantie van een circuit wordt gevonden door er een spanning op te zetten en dan te zien hoeveel stroom er gaat lopen, daarna weer de wet van Ohm toepassen. De ingangsimpedantie kan in de meeste gevallen ook berekend worden.

Als er met stroombronnen gewerkt wordt, gaat het net andersom. Waar een spanningsbron voor een meting kortgesloten moet worden, moet een stroombron juist opengelaten worden.

Voorbeeld: Uitrekenen van de aanpassing van een spanningsdeler.Bij het uitrekenen wordt de wet van Ohm gebruikt.
Zie figuur 8-5. $V_{cc}=5$ V; R1 = 1 k; R2 = 4 k
A) De open klemspanning is
$V_{th} = V_{cc} \cdot (R2/(R1+R2))$
$= 5\ V \cdot (4000\ \Omega/(1000\ \Omega+4000\ \Omega)) = 4\ V$
B) De kortsluitstroom is $I_{sluit} = V_{cc}/R1$
$= 5\ V/1000\ \Omega = 0{,}005\ A$
C) Het Thévenin-ekwivalent, ook wel de inwendige weerstand of impedantie genoemd is
$R_{th} = R_i = Z_{uit} = V_{th}/I_{sluit} = 4\ V/0{,}005\ A$
$= 800\ \Omega$

Deze spanningsdeler is dus een Thévenin-spanningsbron met een spanning V_{th} van 4 V en een inwendige weerstand R_{th} van 800 Ω.
Als op deze spanningsdeler een belasting van 2 k, Z_{in} = 2 k, wordt aangesloten, zal weer een spanningsdeler ontstaan, zie figuur 8-5.



Figuur 8-5.

De spanning die op het knooppunt ontstaat is nu eenvoudig uit te rekenen.
D) De spanning op het knooppunt is $V_x = (Z_{in}/(R_{th}+Z_{in}))\cdot V_{th}$
$= (2000/(800+2000))\cdot 4 = 2{,}86$ V.

8.6 De Mikrosysteem standaardonderdelen.

Bij de opzet van het Mikrosysteem is geprobeerd het totaal aantal verschillende onderdelen te beperken. Er is geprobeerd een aantal standaardonderdelen te vinden die steeds weer gebruikt kunnen worden. De volgende lijst bevat alle aktieve onderdelen die gebruikt worden in dit boek. Voor de weerstanden en kondensatoren is de lijst niet compleet. Met sterren is aangegeven hoe vaak de onderdelen gebruikt worden.

Geen ster betekent dat het onderdeel zo af en toe of zelfs slechts voor één schakeling wordt gebruikt.
* Eén ster betekent dat er meerdere van gebruikt worden voor een gemiddeld systeem.
** Twee sterren betekent dat het zinnig is om die onderdelen standaard in voorraad te hebben.
*** Drie sterren betekent dat het nut kan hebben om deze onderdelen in grotere aantallen tegen een lagere prijs te kopen, ze worden in vrijwel elk systeem regelmatig gebruikt.

8.6.1 IC's van de basiskaarten

6821	PIA	Peripheral interface adaptor	Motorola
6850	ACIA	Asynchronous communications interface	Motorola
8253A	PIT	Programmable interval timer	Intel
8255A	PPI	Programmable peripheral interface	Intel
8259A	PIC	Programmable interrupt controller	Intel
ADC0808	ADC	Analoog/digitaal konverter	Nat. Sem.
DAC08	DAC	Digitaal/analoog konverter	Nat. Sem.
ZN426	DAC	Digitaal/analoog konverter	Zilog
ZN427	ADC	Analoog/digitaal konverter	Zilog
ICM7170	RTC	Real time clock	Intersil

8.6.2 Logische IC's.

Om te beginnen eerst een samenvatting van de logische funkties.

IN			AND	NAND	OR	NOR	XOR	N-XOR
0	0		0	1	0	1	0	1
0	1		0	1	1	0	1	0
1	0		0	1	1	0	1	0
1	1		1	0	1	0	0	1

De EXOR vervult de meest opmerkelijke logische funktie. Als één ingang met 0 V of +5 V wordt verbonden, werkt de poort als buffer of inverter voor het signaal op de andere ingang. Deze kan dus gebruikt worden als buffer of inverter onder programmakontrole.

De volgende lijst bevat alle IC's die in dit boek worden gebruikt plus nog een aantal types die in boek twee worden gebruikt. In de tabel staat eerst het type nummer, dan de funktie gevolgd door het aantal poorten per IC en het aantal ingangen per poort.

8.6.2.1 TTL. (kunnen relatief veel vermogen verwerken)

*	7406	buffer/inverter met open-kollektor	6	1
*	7407	buffer/driver met open-kollektor	6	1
	74LS38	NAND met open-kollektor	4	2
*	74LS133	NAND met 13 ingangen	1	13

8.2.6.2 HCT (standaardtypes)

	74HCT			
**	00	NAND	4	2
	02	NOR	4	2
**	04	Inverter	6	1
**	08	AND	4	2
	14	Schmitt-trigger	6	1
	27	NOR	3	3
	30	NAND 8 ingangen	1	8
*	32	OR	4	2
*	74	Dual d type flip flop	2	x
	86	Exclusive-or	4	2
	125	Quad tri-state buffer	4	1
	132	NAND / Schmitt-trigger	4	2
	138	3-to-8 line dekoder/demultiplexer	1	x
	174	Hex D-type flipflop	6	x
	175	quad D-flipflop with clear	4	x
	251	1-of-8 data selector/multiplexer	1	x
*	374	Octal D-type flipflop	2	8
**	390	Dual decade ripple counter	2	2
	540	Dual/quad (=octal) inverter/buffer	2	4
*	645	Bus transceiver	8	1
	688	8-bit magnitude comparator	1	17
**	4040	Binaire deler Q0..Q11	1	1
	4046	Phase locked loop (HCT!)	1	X
	4060	Oscillator + deler Q3..Q13 (HCT!)	1	1
	4069	Hex inverter	6	1
	4538	Monostabiele flipflop	2	2

8.2.6.3 CMOS. (speciaal voor de schakelniveaus)

CD 4070	EXOR	4	2
CD 4077	EXNOR	4	2
CD 4093	NAND / Schmitt-trigger	4	2
CD 4049	Buffer/inverter 15 V » TTL	6	1
CD 4050	Buffer 15 V » TTL	6	1

8.6.3 Transistoren

	Type Npn/Pnp	Vce V	Ice Amp	Vce sat V	Ptot Watt	Hfe >	Ft MHz
**	BC 516/17	30	0,4	1	0,6	30000	120
***	BC 547/57B	45	0,2	0,25	0,5	240	200
	BSX20	15	0,5	0,6	0,36	40	500

Diode's

***	1N4148	75 V	0,2 A
**	1N4004	400 V	1 A
	Zener	4V7	1,3 W
*	Zener	5V6	1,3 W
	Zener	15V	1,3 W
	Zener	24V	1,3 W

Lineair

*	OP 77	lage off-set op-amp
	MAX 232	RS232 interface met enkele +5 V voeding
***	CA 3140	op=amp met hoge ingangsimpedantie

***	NE 555	timer
**	ULN 2803	acht darlingtons per IC

Voeding

*	78L05/78M05	positieve 3-pins regelaar op de kaarten
	7805	+5 V/1,5 A (mits gekoeld)
	7808	+8 V 3-pins regelaar in centrale voeding
	7815	+15 V 3-pins regelaar
	7915	negatieve drie pins regelaar
	TL 497	IC voor gelijkspanning omzetting
*	μA 723	nauwkeurige regelbare stabilisator
	REF 01	referentie-spanning 10,000 V
	REF 02	referentie-spanning 5,000 V stabiel
	LM 325	dual tracking voltage regelaar
	MOV 250 V AC	varistor voor ontstoring
	Transformator	12 V / 5A
	Transformator	2 X 20 V / 1,5A

Schakelaar dubbelpolig om, KEMA keur
Zekeringhouders, print- en chassismontage

Opto

***	LED 3 mm	rood voor signalering.
*	LED 3 mm	groen voor signalering.

8.6.8 Weerstanden

Gebruik bij voorkeur overal metaalfilmweerstanden, de redenen hiervoor zijn de stabiliteit en de lage ruis. De Philips SFR25-serie kan 0,25 W dissiperen en is binnen ±5% nauwkeurig, deze weerstanden zijn goed leverbaar en redelijk geprijsd. Dit zijn de Mikrosysteem standaardweerstanden. Alhoewel voor het digitale deel wel koolfilm gebruikt kan worden, is metaalfilm altijd beter. Voor sommige analoge toepassingen worden 1% of 0,1% nauwkeurige weerstanden gebruikt. Deze worden met een procent teken (%) respektievelijk een dubbel procent teken (%%) aangegeven. Daarbij gaat het niet alleen om de nauwkeurige weerstandswaarde af fabriek, maar ook om de stabiele eigenschappen. Een 1%% weerstand kan niet vervangen worden door een 1%-weerstand die op de weerstand-meter exakt dezelfde weerstandwaarde heeft! Het feit dat 0,1%-weerstanden tegenwoordig goed verkrijgbaar en redelijk betaalbaar zijn, is een belangrijk gegeven voor het zelf bouwen van nauwkeurige elektronica. Een voorbeeld is de Philips MPR24-serie.

De binnen het totale Mikrosysteem meest voorkomende waarden zijn:

***	220	1k	4k7	10k(!)		47K	100k		
**	47	100	330	470	2k2	33k	1M	10M	
*	3k3	3k9	6k8	15k	22k	470k	1k%%	10k%%	100k%%

Instelpotmeters 15 slagen, liefst met doorzichtig huis.

500R *5k **10k **100k

8.6.9 Kondensatoren

Het soort kondensator moet aangepast zijn aan de toepassing. Daarbij is de prijs ook een belangrijke faktor. Als het met een goedkope keramische kondensator kan, wordt geen styroflex gebruikt. Voor analoge signalen is het van groot belang dat de kondensatoren in de signaalweg van goede kwaliteit zijn, polyester

(MKT) of styroflex (KS/KH). Voor plaatsen waar slechts een lage lek vereist is, is styroflex het aangewezen type, polyester kan ook nog. Een andere zaak is de tolerantie van de verschillende types. Deze is bij elko's en keramische kondensatoren het grootst, bij styroflex en polyester het kleinst. Dit geldt ook voor de temperatuurstabiliteit.

Typische tolerantie van de waarde af fabriek;

Elko	Maximaal	−30%...+100%
	Typisch	−10%...+50%
	Minimaal	±20%
Druppel tantaal	100 nF...470 μF	±20%
Keramisch multilayer	10 nF..100 nF	−20%...+50%
Keramisch KAH	1..8,2 pF	±0,25 pF
(Philips)	10..560 pF	±2%
	680 pF..4 n7	±10%
	>4 n7	−20%...+80%
Polyester Siemens MKT	1 nF...2μ2	±5%
Polyester Philips MKT	1 nF...6μ8	±10%
Styroflex (KS/KX)	47 pF...27 nF	±2.5%

Veel voorkomende waarden binnen het Mikrosysteem;

* 100 nF multilayer (Sibatitt), voedingsontkoppeling.
*** 10 μF tantaalelko, minstens 16 V, voeding.
** 100 nF polyester (MKT), voor analoog werk
* 1 nF 10 nF 47 nF 1 μF MKT
* 47 pF 470 pF Styroflex (KS/KX).

8.6.10 Kristallen
Voor een aantal toepassingen worden kristallen gebruikt. De volgende waarden worden in dit boek gebruikt:

32,768 kHz real time clock
4,9152 MHz RS232 baudrategenerator
(11,0592 MHz 8052-klok)

8.6.11 Konnektoren en kabel
Er zijn verschillende typen konnektors toegepast. Gebruik konnektoren van goede kwaliteit, dit beperkt de kans op storingen t.g.v. slechte kontakten.

8.6.11.1 Voor de mikrobus:
34-polige bandkabel female socket konnektors.
34-polige male haakse headers met behuizing (walled header).
34-polige bandkabel grijs of regenboog.

De eigenschappen van een typische bandkabel;

Max. spanning	250 V	Max. stroom	1 A
Impedantie	100Ω	Kapaciteit	46 pF/m
Inductie	0,55 μH/m	Isolatie	10^{10}Ω.
Signaalvertraging	4,55 ns/m	Werktemp.	40...105°C.

8.6.11.2 Diverse systeem konnektors
* 1 mm soldeerpinnen en schoentjes voor de printkaart aansluitingen.
* 26-polige header strips voor de eindaansluiting van de printen.
* 26-polige bandkabel socket konnektors voor 26 pol. header.
* printmontage kroonstenen voor diverse print- en voedingaansluitingen.
* 3,5 mm stereo chassisdelen & pluggen / al-

lerlei verbindingen.
* 9- en 25-polige D-konnektoren / allerlei verbindingen.
* BNC chassisdelen en konnektoren / speciale aansluitingen.

8.6.12 Bevestiging en diverse kleine materialen

Al deze materialen moeten als het even kan in voorraad zijn.

*** Krimpkous, diverse kleuren en doorsneden
*** Diverse kleuren massief montage draad ∅ 0,5 mm
*** Litzedraad
*** Single-In-Line 20-pins breekstrip voetjes, verguld en gedraaid.
* Universele dil-IC koellichamen
* M3 bouten en moeren van metaal en nylon
* Afstandsbussen en -ringen van metaal en nylon
* Dubbelzijdig schuimplakband
Vullende sekondelijm (dikke cyano-acrylaat lijm)

8.6.13 SI-Stelsel

basisgrootheid naam	grondeenheid symbool	naam	symbool
lengte	l	meter	m
massa	m	gram (kilogram)	g (kg)
tijd	t	sekonde	s
elektrische stroom	I	ampère	A
temperatuur	T	kelvin	K
lichtsterkte	l	candela	cd
hoeveelheid stof	n	mol	mol

8.6.14 Elektrische eenheden

grootheid	eenheid	symbool	omrekening
spanning	volt	V	$U = kg \cdot m/A \cdot s^3$
vermogen	watt	W	$P = V \cdot A$
arbeid	wattsekonde (joule)	Ws (J)	$A = V \cdot A \cdot s$
weerstand	ohm	Ω	$R = V/A$
lading	coulomb	C	$Q = A \cdot s$
kapaciteit	farad	F	$C = A \cdot s/V$
induktie	henry	H	$L = V \cdot s/A$
frekwentie	hertz	Hz	$f = 1/s$

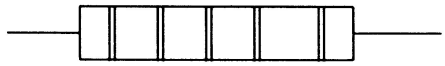
8.6.15 Voorvoegsels

P peta	10^{15}	1.000.000.000.000.000	
T tera	10^{12}	1.000.000.000.000	(Biljoen *)
G giga	10^{9}	1.000.000.000	(Miljard *)
M mega	10^{6}	1.000.000	(Miljoen)
k kilo	10^{3}	1.000	(Duizend)
h hecto	10^{2}	100	(Honderd)
D deka	10^{1}	10	(Tien)
	10^{0}	1	(Eén)
d deci	10^{-1}	0,1	
c centi	10^{-2}	0,01	
m milli	10^{-3}	0,001	
μ mikro	10^{-6}	0,000.001	
n nano	10^{-9}	0,000.000.001	

p pico	10^{-12}	0,000.000.000.001
f femto	10^{-15}	0,000.000.000.000.001
a atto	10^{-18}	0,000.000.000.000.000.001

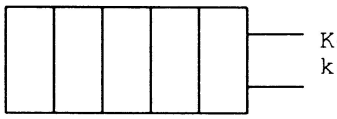
* Let op een Europese *miljard* is een Amerikaanse billion!
* Een Europese *biljoen* is een Amerikaanse *quadrillion*.

8.6.16 Kleurkode weerstanden en kondensatoren



Weerstand (# derde cijfer ring alleen bij E48 of hoger)

	1	2	# 3	R	C ker	Tantaal	Tolerantie
zilver	-	-	-	0,01	-		+/-10%
goud	-	-	-	0,1	-		+/- 5%
zwart	0	0	0	1	1pF	1uF	+/-20% *
bruin	1	1	1	10	10pF	10uF	+/- 1%
rood	2	2	2	100	100pF		+/- 2%
oranje	3	3	3	1k	1nF		
geel	4	4	4	10k	10nF		
groen	5	5	5	100k	100nF		+/-0,5%
blauw	6	6	6	1M	1uF		
paars	7	7	7	10M	10uF		
grijs	8	8	8	100M	0,01pF	0,01uF	
wit	9	9	9	-	0,1pF	0,1uF	+/-10% *



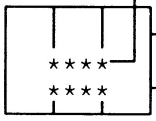
Vmax

Keramische kondensator

Vmax kerko

bruin	100 V
rood	250 V
geel	400 V
blauw	630 V

gekleurde stip voor tolerantie



+ pool
Tantaal elko

Vmax

Vmax tantaal elko

wit	3 V
geel	6,3 V
zwart	10 V
groen	16 V
blauw	20 V
grijs	25 V
rose	35 V

\# Derde cijferring alleen voor E48 en hoger, tolerantie < ±2%.
* Alleen kondensatoren, ±20% weerstand is zonder kleurkode.
– Tantaal kleuren niet genormeerd.

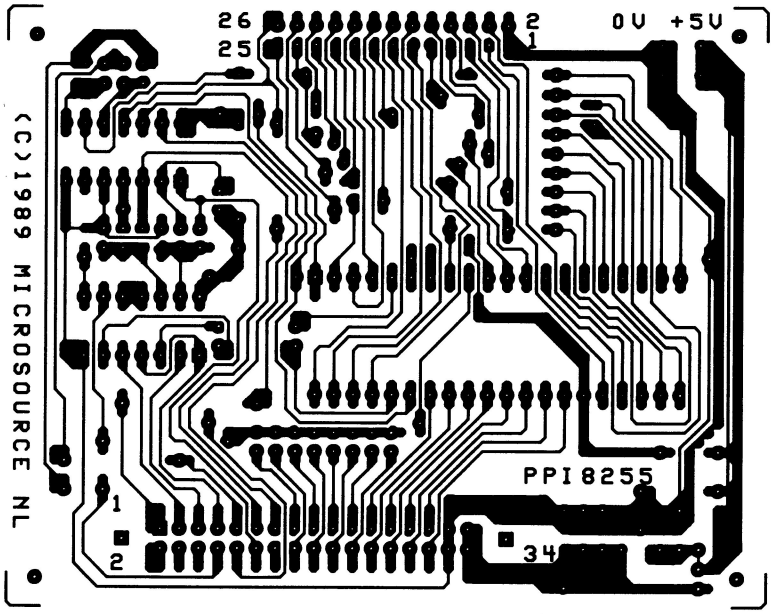
8.6.17 E-reeksen

Passieve onderdelen zoals weerstanden, kondensatoren, spoelen en zenerdioden worden volgens de zogenaamde E-reeksen gemaakt. Elke E-reeks beschrijft de waarden die bij een bepaalde tolerantie voorkomen.
De E96 reeks voor onderdelen met een tolerantie van 1% bestaat uit de E48 reeks met alle tussenliggende waarden. Alle waarden uit de E6, E12, E24 en E48 reeks komen in de E96 reeks voor.

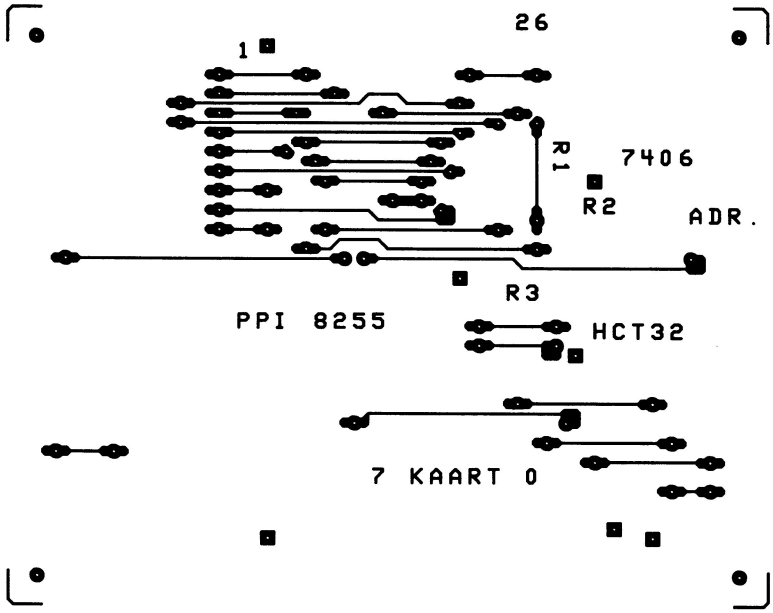
E6	E12	E24	E48
±20%	±10%	±5%	±2%
1	1	1,0	1
			1,05
		1,1	1,1
			1,15
	1,2	1,2	1,21
			1,24
			1,27
		1,3	-
			1,33
			1,40
			1,47
1,5	1,5	1,5	-
			1,54
		1,6	1,62
			1,69
			1,78
	1,8	1,8	-
			1,87
			1,96
		2,0	-
			2,05
			2,15
2,2	2,2	2,2	-
			2,26
			2,37
		2,4	-
			2,49
			2,61
	2,7	2,7	2,74
			2,87
		3,0	3,01
			3,16
3,3	3,3	3,3	3,32
			3,48
		3,6	3,65
			3,83
	3,9	3,9	-
			4,02
			4,22
		4,3	-
			4,42
			4,64
4,7	4,7	4,7	-
			4,87
		5,1	5,11
			5,36
	5,6	5,6	5,62
			5,90
		6,2	6,19
			6,49
6,8	6,8	6,8	6,81
			7,15
		7,5	7,50
			7,87
	8,2	8,2	8,25
			8,66
		9,1	9,09
			9,53

8.7 Printen

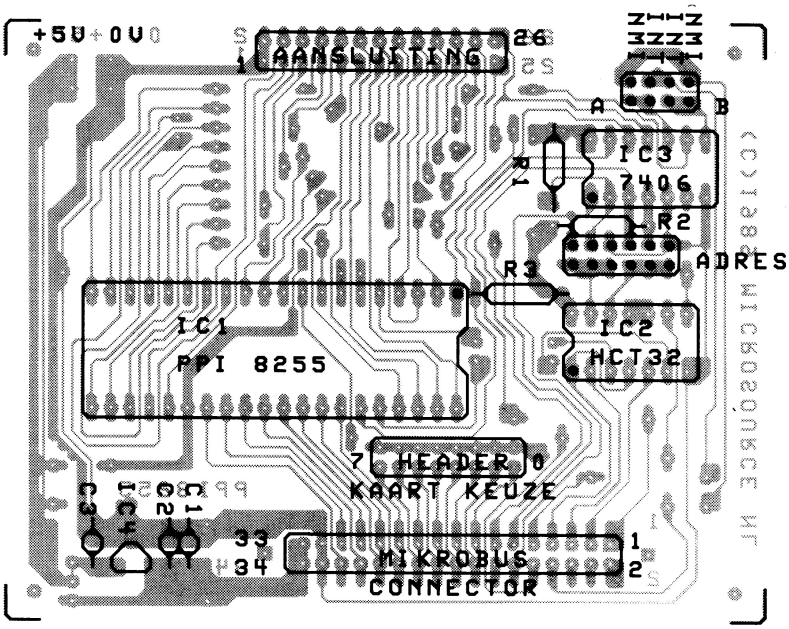
Van de vier belangrijkste basiskaarten is hier een printontwerp opgenomen. In vrijwel elke op het Mikrosysteem gebaseerde meet- en regelinstallatie zal meer dan de helft van de toegepaste kaarten een kombinatie van deze vier zijn. Vaak zal een hele toepassing volledig met een keuze uit deze vier kaarten kunnen werken. Met deze vier printen kunnen ook alle toepassingen uit het tweede Mikrosysteem-boek worden gerealiseerd.
De printen zijn zo ontworpen dat ze enkelzijdig of dubbelzijdig gemaakt kunnen worden. Bij een enkelzijdige uitvoering hoeven er alleen maar een aantal rechte verbindingen te worden aangebracht. Dat moet wel met geisoleerd draad gebeuren, want deze draden liggen soms dicht bij elkaar. Bij een dubbelzijdige print hoeven uiteraard alleen maar de verbindingen tussen boven- en onderlaag (doormetaliseringen) tot stand te worden gebracht.
Bij de maat voor de 100 nF ontstoorkondensatoren is uitgegaan van het kleine keramische multilayertype, dat speciaal voor dit doel gemaakt wordt. Voor de instelpotmeters wordt bij voorkeur een meerslagstype gebruikt, maar bij deze printontwerpen kan ook een goedkope liggende instelpotmeter worden geplaatst.
De printontwerpen mogen uitsluitend voor persoonlijk gebruik worden gereproduceerd. Het is zonder schriftelijke toestemming van MicroSource verboden om deze in welke vorm dan ook voor derden te produceren of als onderdeel van een produkt te gebruiken.



Figuur 8-6. Koperzijde van de print

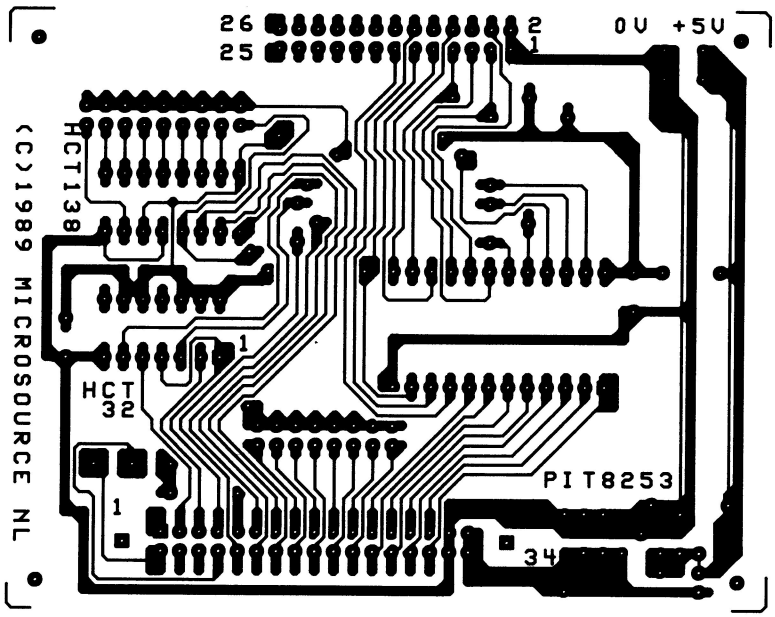


Figuur 8-7. Komponentenzijde van de print

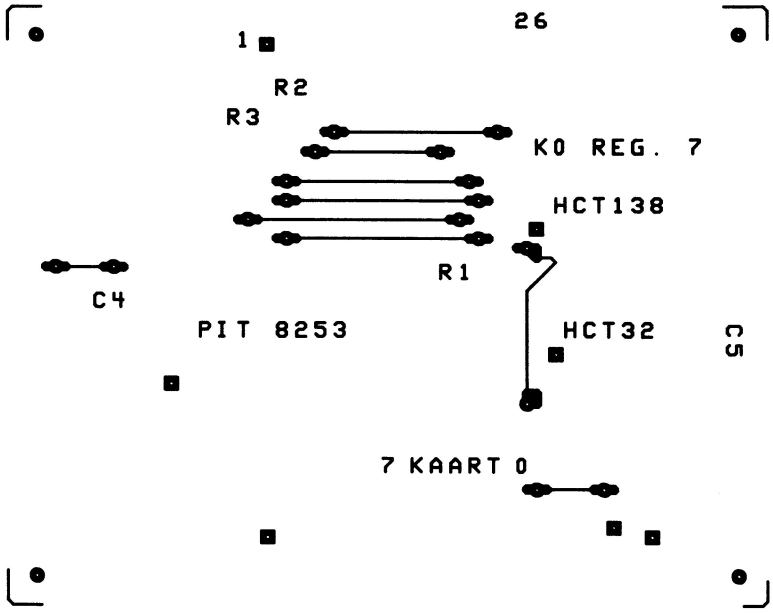


Figuur 8-8. Komponentenopstelling

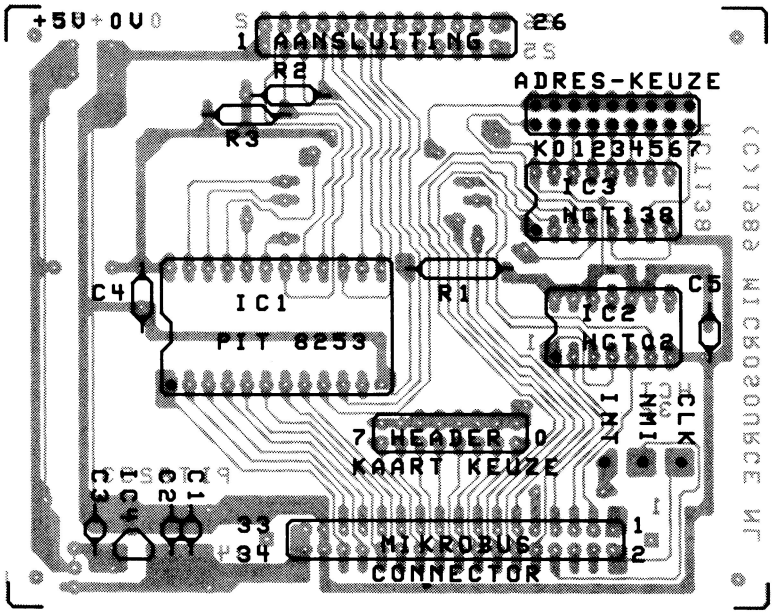
Timer/teller PIT 8253



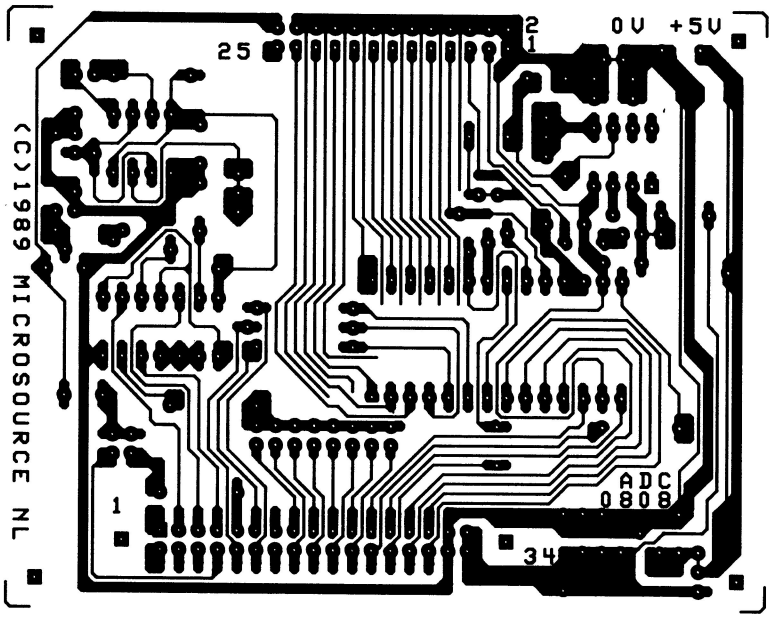
Figuur 8-9. Koperzijde van de print



Figuur 8-10. Komponentenzijde van de print

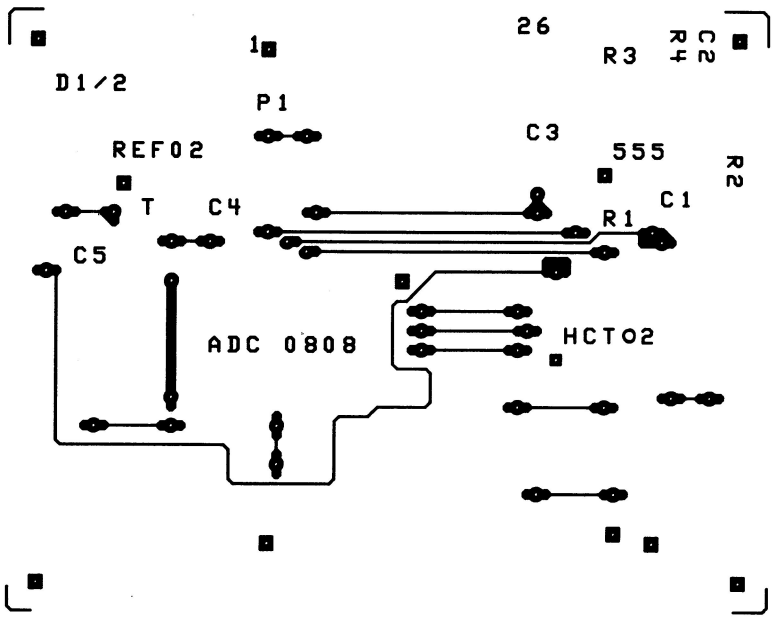


Figuur 8-11. Komponentenopstelling



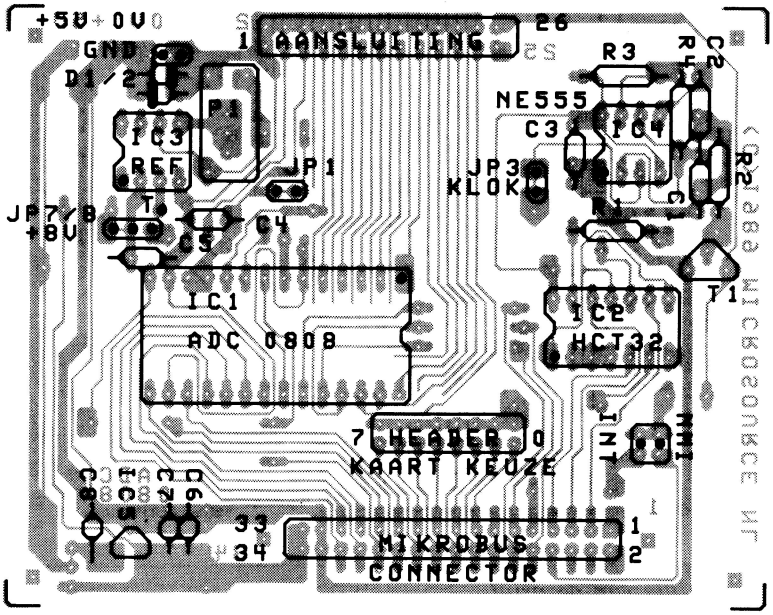
Figuur 8-12. Koperzijde van de print

Op de print zijn de jumpers 2 en 4 uit het schema niet aanwezig. De +5 V voor een ratiometrische meting kan op pin 5 van de konnektor worden gezet, jumper 1 moet dan open zijn. Jumper 4 is vervangen door een gewone doorverbinding, een externe klok kan op pin 7 van de konnektor aangesloten worden als jumper 3 open is. Op de print zijn de



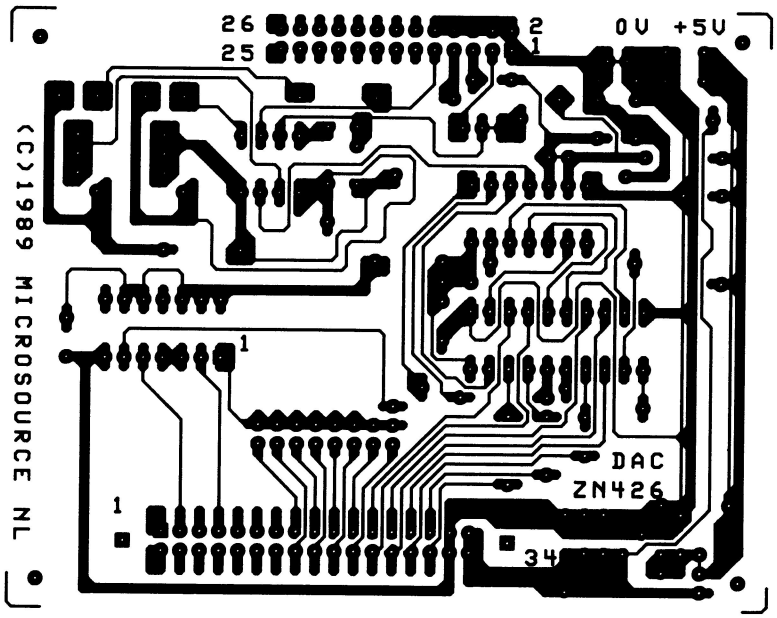
Figuur 8-13. Komponentenzijde van de print

jumpers 1, 3, 7 en 9 doorverbonden. Deze moeten dus om een andere werkwijze in te stellen eerst doorgekrast worden. De massa aansluitingen van de ADC0808 op pin 13 en 16 worden door een gewoon printspoor verbonden.



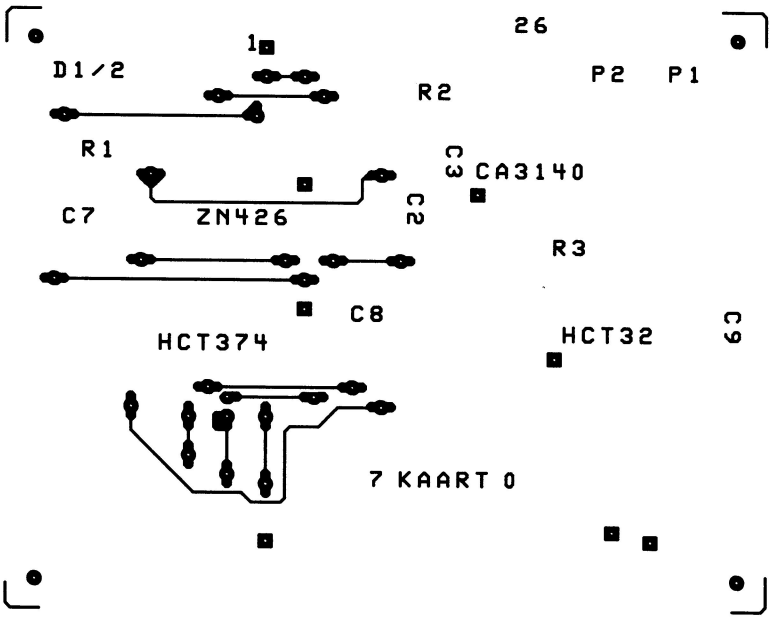
Figuur 8-14. Komponentenopstelling

Digitaal/analoog-omzetter ZN426



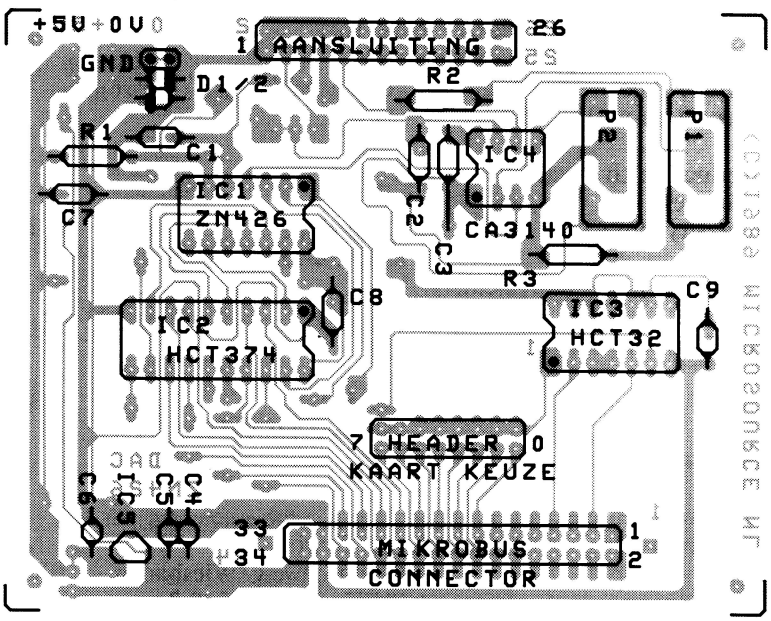
Figuur 8-15. Koperzijde van de print

Bij het printontwerp voor de komponentenzijde is nog een extra verbinding tussen pin 13 en 16 aangebracht, deze kan aan de bovenzijde direkt aan de pinnen van bepaalde types IC-voet gesoldeerd worden.



Figuur 8-16. Komponentenzijde van de print

Jumper 1, 2 en 3 zijn op de ADC0808-Print doorverbonden, voor een andere werkwijze moeten deze dus eerst doorgekrast worden.



Figuur 8-17. Komponentenopstelling

8.8 Literatuurlijst

De boeken in deze lijst vormen de toegang tot enige achtergrondinformatie bij hetgeen in dit boek besproken is. Het is maar een (klein) deel van alle literatuur die gebruikt is tijdens het werken aan het Mikrosysteem. De laatste kolom geeft de taal aan, waarin het boek is verschenen.

Algemene elektronicatheorie

Elektronica echt niet moeilijk 1
Deel 1: experimenten met gelijkstroom
Schommers, A
Elektuur Beek NL N
1985 ISBN: 90-70160-35-8
Standaard gelijkstroomtheorie
Basistheorie, deze wordt in dit boek als bekend verondersteld.

Elektronica echt niet moeilijk 2
Deel 2: experimenten met wisselstroom
Schommers, A
Elektuur Beek NL N
1988 ISBN: 90-70160-50-1
Standaard wisselstroom theorie
Eenvoudige inleiding, deze kennis wordt als aanwezig verondersteld voor het volgen van de mikroysteem boeken.

The art of electronics
second edition
Horowitz, Paul & Hill, Winfield
Cambridge university press Cambridge / New York GB/USA E
1989 ISBN: 0-521-37095-7 (hard cover nummer)
Algemene praktische theorie, van begin tot geavanceerd.
Het favoriete theorie en naslag boek.

A practical introduction to electronic circuits
Jones, Martin Hartley
Cambridge University Press Cambridge GB E
1985 ISBN: 0-521-31312-0
Algemene theorie, met name halfgeleiders.

Electronics and Electronic Systems
Olsen, George H.
Butterworths London GB E
1987 ISBN: 0-408-01369-9
Algemene theorie met nadruk op wiskunde

Elemente der angewandten elektronik
Kompendium fur ausbildung und berufBohmer, Erwin
Vieweg Braunschweig/Wiesbaden BRD D
1984 ISBN: 3-528-24090-3
Korte samenvatting van principes en komponenteigenschappen.
Standaard naslagwerk

Digitale techniek en de microcomputer

Microprocessors van chips tot systeem
Zaks, Rodney
Kluwer — Deventer — NL — N
1979 — ISBN: 90-201-1129-9
Leerboek over de werking van de microcomputer
Een uitstekend beginnersboek

Microprocessor interface-technieken
Zaks, Rodney & Lesea, Austin
Sybex — Dusseldorf — BRD — NL!
1984 — ISBN: 3-88745-103-1
Leerboek over interface technieken.
Vervolg van: Van chips tot systeem.

Handboek microcomputer interfacing
Leibson, Steve
Kluwer technische boeken — Deventer — NL — N
1985 — ISBN: 90-201-1728-9
Over de diverse microcomputerbussen van dat moment
Breed overzicht, niet struktureel

Microcomputer design and troubleshooting
Zumchak, Eugene M.
Sams — Indianapolis — USA — E
1982 — ISBN: 0-672-21819-4
Veel aandacht voor interface timing, uit de KIM- en SYM-tijd.
Belangrijk voor de basis-theorie van het Mikrosysteem.

Microcomputers
Dirksen, A J
Kluwer — Deventer — NL — N
1983 — ISBN: 90-210-1593-6
De CPU en zijn gebruik
Eén van de Nederlandstalige leerboeken

TTL cookbook
Lancaster, Don
Sams — Indianapolis — USA — E
1982 — ISBN: 0 672 21035 5
Over TTL-eigenschappen en -toepassingen.
Standaardwerk

CMOS cookbook
second edition
Lancaster, Don — Berlin, Howard M
Sams — Indianapolis — USA — E
1988 — ISBN: 0-672-22459-3
Over cmos met veel applikaties

Robotbesturing met uw homecomputer
Steeman, J.P.M
Elektuur — Beek — NL — N
1986 — ISBN: 90-70160-45-5
Boek over het besturen van mechanische modellen.
Veel software voor Fischertechnik computing modellen.

Data communicatie
Heijer, P.C. den & Tolsma, R
Kluwer technische boeken — Deventer — NL — N
1982 — ISBN: 90-201-1576-6
Standaardwerk over seriële datacommunicatie.
Er is inmiddels een nieuwere editie.

CPU'S, periferie-IC'S en andere IC's op de basiskaarten

The S6800 family
Hardware fundamentals
Gooze, Mitchell
Addison-Wesley — Reading MA — USA — E
1982 — ISBN: 0-201-03399-2
Uitleg over de 6800 CPU families en de peripheral IC's.

68000 deel 1
Anatomie van een super-microprocessor
Nachtmann, L
Elektuur — Beek — NL — N
1986 — ISBN: 90-70160-41-2
de 68000 en 68008 bus en instruktieset, inkl. specifieke periferie

68000 microprocessor handbook
Kane, Gerry
Osborne / McGraw Hill — Berkeley Cal — USA — E
1981 — ISBN: 0-931988-41-1
68000 bus, interfacing en instruktieset
met o.a. 6800 periferie-IC-interfacing

Using and troubleshooting the MC68000
Coffron, James W
Reston / Prentice Hall — Reston Vi — USA — E
1983 — ISBN: 0-8359-8158-4
Hardware interfacing en systeem opbouw met de MC68000

Programming & interfacing the 6502, with experiments
Jong, Marvin L. de
Sams — Indianapolis In — USA — E
1980 — ISBN: 0-672-21651-5
6502-CPU en toepassingen

Z80 users manual
Carr, Joseph J
Reston / Prentice Hall — Reston Vi — USA — E
1980 — ISBN: 0-8359-9517-8
Z80 hardware en software

Z-80 microprocessor programming & interfacing
book 2
Nichols, Joseph C. & Nichols, Elizabeth A. & Rony, Peter
Sams — Indianapolis — USA — E
1982 — ISBN: 0-672-21610-8
over Z80 interfacing

Microcomputer interfacing with the 8255 PPI chip
Goldsbrough, Paul F. & Rony, Peter R.
Sams / Blacksburg Indianapolis USA E
1980 ISBN: 0-672-21614-0
Een heel boek over de 8255 parallel peripheral interfacechip.

ic op-amp cookbook
third edition
Jung, Walter G.
Sams Indianapolis USA E
1986 ISBN:0-672-22453-4
Een ''klassiek'' boek over op-amps en manieren om ze te gebruiken.

ic converter cookbook
Jung, Walter G.
Sams Indianapolis USA E
1982 ISBN:0-672-21527-6
Over A/D- en D/A-omzetters en manieren om ze te gebruiken.

Specifieke computer informatie

Spectrum hardware manual
new revised edition for Spectrum issue 3
Dickens, Adrian
Melbourne house London GB E
1984 ISBN: 0-86161-1152
Spectrum hardware-handboek met uitgebreide informatie over innerlijk en aansluiten

The commodore 64 connection
Coffron, James W
Sybex Berkeley USA E
1984 ISBN: 0-89588-192-6

The new advanced user guide
for BBC Master, Compact, B, B+ & Electron
Dickens, Adrian & Holmes, Mark
Adder Cambridge GB E
1987 ISBN: 0-947-929-05-3
BBC computer serie, Machine Operating System & interfacing.

Acorn Electron advanced user guide
Holmes, Mark & Dickens, Adrian
Adder / Acornsoft Cambridge GB E
1984 ISBN: 0-947929-03-7

The complete MSX programmers guide
Sato, Toshiyuki & Mapstone, Paul & Muriel, Isabella
Melbourne House Richmond GB E
1984 ISBN: 0--86161-173-X

Werken met de 8052 AH-Basic
zelf besturen met een single-chip computer
Steeman, J.P.M.
Elektuur Beek NL N
1987 ISBN: 90-70160-53-6

MCS Basic-52 User manual
Intel Santa Clara Cal USA E
1986
Fabrieksdocumentatie van de 8052 Basic.

Mastering digital device control
Houghton, William R
Sybex Alameda Ca USA E
1987 ISBN: 0-89588-346-5
Over microcontrollers en toepassingen.

Embedded control applications
Intel Corp.
Intel literature distribution Santa Clara CA USA E
1988 / 1989 ISBN: onbekend
Toepassingen microcontrollers, heel nuttige informatie voor het werken met 80XX microcontrollers. Elk jaar andere inhoud.

The IBM-PC from inside out
Revised edition includes PC AT
Sargent III, Murray & Shoemaker,
Addison-Wesley Reading MA USA E
1986 ISBN: 0-201-06918-0
Over de werking van en het interfacen met de IBM-PC's.

Handbook of software & hardware interfacing for IBM PC's
Royer, Jeffrey P
Prentice-Hall Englewood Cliffs USA E
1987 ISBN: 0-13-381849-7
Over de software en de hardware voor het interfacen met de IBM-PC, vooral goed over de software.

Interfacing to the IBM personal computer
Eggebrecht, Lewis C
Sams Indianapolis USA E
1987 ISBN: 0-672-22027-X
Interfacen met de IBM-PC, het beste IBM interface boek

Apple interfacing
Titus, Jonathan S & Larsen, David G. & Titus, Christoph
Sams Indianapolis In USA E
1981 ISBN: 0-672-21862-3

Designing cards and drivers for Macintosh II en SE
Inside Macintosh library
Apple Computer Inc.
Addison-Wesley Reading MA USA E
1987 ISBN: 0-201-19256-X
Macintosh II en NuBus interfacing, veel informatie over de NuBus.

Databoeken
Een elektronica-werkplaats kan niet zonder databoeken. Databoeken vormen dan ook de onmisbare kern van een elektronica-bibliotheek. Er zijn expres geen jaartallen vermeld, omdat databoeken regelmatig in een nieuwe editie verschijnen. Een niet te vergeten aspect van databoeken is het feit dat er wel eens fouten in voorkomen. Als een bepaald gegeven van belang is voor een toepassing en de opgegeven waarde lijkt onwaarschijnlijk, neem dan kontakt op met de leverancier van het onderdeel.

De bekende Elektuur datasheet-boeken vormen de minimale kollektie. Andere voor het Mikrosysteem nuttige databoeken zijn:
Intel of A.M.D. voor 82XX peripheral's, Motorola of Thomson voor 68XX peripherals. Texas Instruments of Philips voor TTL en voor HCT. Ferranti voor ZN426 en ZN427. Intersil voor de ICM7170. Op analoog gebied, ADC0808 en DAC08; National Semiconductor, P.M.I., Analog Devices en Burr Brown. Voor de voeding; Texas Instruments voor de drie pins regelaars en National Semiconductor voor de andere IC's.

– Datasheet-boek 1, 2e editie
Elektuur — Beek — NL — N
1983 — ISBN: 90 70160 68 4
Verzameling datasheets, inkl. TTL, HC(T) en CMOS.

– Datasheet-boek 2
voor studie en ontwerp
Steeman, J.P.M
Elektuur — Beek — NL — N
1986 — ISBN: 90-70160-43-9
Verzameling data sheets, inkl. HCT en peripherals.

– Het microprocessor databoek
een handig μP-overzicht
Hogenboom, P
Elektuur — Beek — NL — N
1987 — ISBN: 90 70160 52 8
Verzameling datasheet uittreksels van microprocessoren, de bus en de instruktie set

– Microprocessor and peripheral handbook
volume 1 Microprocessor & volume 2 Peripheral
– Embedded controller handbook (2 delen)
Intel — Santa Clara — USA — E
80X8X CPU-serie en periferie-IC's
8031 / 8051 familie microcontrollers

– Semiconductor microprocessor & peripherals
Thomson — Velizy — FR — E
68XX en 68XXX CPU's en peripherals

– Zilog component databook
Zilog / Exxon — Campbell Ca — USA — E
Z80 en periferie-IC's, Z8XXX

– High speed CMOS
Book IC06N new handbook series
Philips — Eindhoven — NL — N
HCT-databoek, de Mikrosysteem standaard logische IC-familie

– Linear databook
National Semiconductor Corp. Santa Clara Ca USA E
LM723, LM325, LM339, LM388, ADC0808, DAC08
– Linear and Conversion Products
– Linear and Conversion Applications handbook
Precision Monolithics Inc. Santa Clara Ca USA E
DAC08, REF02, OP77, AMP01 en andere interessante analoge IC's.

– Data converters & reference IC's
Ferranti Chadderton GB E
ZN serie A/D en D/A

– Diverse databoeken, application notes en andere literatuur
Analog Devices Norwood MA USA E
Oosterhout NL NL
De diverse boeken die Analog Devices zelf, of in samenwerking met andere uitgevers, uitgeeft zijn de moeite waard.

Index

-INT 35
-LEES 35
-NMI 35
-Reset 35
-SCHRIJF 34
-STROBE 34
μA723 198
6502 40
6800 38
68000 39
68008 39
6821 81
6850 133
80386 37
8052AH 38, 59
8080 37
8085 37
8088 37
8253 100
8255A 94
8259 150
aansluiten van
  6800 periferie IC's 74
  8080 periferie IC's 74
  een I/O poort 72
aarde 162
  "echte" 162
  "systeem-" 162
  bij verbindingen 163
aardlussen 163
ADC0808 116
adreslijnen 32
afvlakcondensator 191
analoog/digitaal-omzetter
  ADC0808 116
  ZN427 119
asynchrone bussen 30
bandkabel 15
Basic 207
basiskaarten 12, 72, 75
bijlagen 203
busbuffer(s) 41
  8052- 59
  Atari ST 69
  IBM-PC (-XT & -AT) 63
  MSX- 61
  universele 41
bussignalen 28
bussignalen, de gebruikte 31
CPU 203
computer 203
DAC08 124
databus 31
datalijnen 36
definities 203
digitaal/analoog-omzetter
  DAC08 124
  ZN426 130
direkte adressering 147
dubbel geïsoleerd 185
E-reeks 219
elektrische eenheden 217
elektro magnetische puls 172
energievoorziening 185
eurosteker 186
familie processoren 203
flank- of niveaudetektie 30
gelijkspanningsomzetting 201
geschiedenis van de microprocessor ... 27
ICM 7170 140
in- en uitvoeraktie 30
indirekte adressering 147
Intel 8080 37
interruptexpander 150
interruptlijnen 35
invoer- (input-) poort 76
invoer- of uitvoeraktie 30
isolatie 185
kaartkeuze 33, 45
kaarten van andere bussystemen 159
Kirchhoff, wet van 211
kleurkode weerstanden en
kondensatoren 218
klok 35
konnektors 15
kontinu voeding 202
kontrolelijnen
  bij de diverse cpu's 36
  op de mikrobus 34
LM325 198
MOV 182
machinetaal 208
MC1 35
microcontroller
  8052- 37, 59
  80XX- 37
microprocessor 203
Mikrosysteem
  basisidee 12
  bus 15
  kenmerken 12
  opbouw 25

Mikrosysteem standaard konnektors ... 23
vormgeving ... 15
minimaal systeem ... 12
montage van de voeding ... 189
Mostek 6502 ... 40
Motorola 6800 ... 38
negatieve spanning ... 196
Ohm, wet van ... 210
open-kollektorlijnen ... 30
opto-isolatoren ... 163
periferie IC's
van de 6800 ... 74
van de 8080 ... 74
andere ... 75
PIA 6821 parallel I/O ... 81
PIT 8253 timer/teller ... 100
PLD ... 43
plexiglas ... 25
PPI 8255A parallel I/O ... 94
processor ... 203
programma ... 203
programmeerbare IC's ... 73
randaarde ... 163
veiligheidsklasse ... 185
Real Time Clock, ICM7170 ... 140
registerkeuze ... 34, 45
seriële interface, ACIA 6850 ... 133
SI-stelsel ... 217
signalen
I/O- ... 34
interrupt- ... 35
op de computer bus ... 28
overzicht gebruikte kontrole ... 34
systeem- ... 35
single chip computers ... 59
solderen ... 209
spanningstabilisatie ... 191
standaard printkaarten ... 19
STD ... 12
storing
in de schakeling ... 166
in verbindingen ... 173
onderdrukking ... 164
vanuit het lichtnet ... 182
sub-bus ... 12
synchrone bussen ... 30
systeemsignalen ... 35
Thévenin, theorema van ... 211
tips ... 209
TL497 ... 201
transformator ... 190
TTL parallel poort ... 76
twisted wire ... 177
U-Systems ... 161
uitvoer- (output-) poort ... 77
universele busbuffer ... 41
Acorn BBC ... 52
Acorn Electron ... 56
adressering ... 43
Commodore 64 ... 50
ZX Spectrum ... 47
universele Elektuur-bus ... 159
veiligheid ... 185
veiligheidsklassen ... 185
veiligheids-transformator ... 190
Velleman systeem ... 101
vierentwintig uurs klok, ICM7170 ... 140
voeding
+15V/|-15V, 100mA ... 199
+15V/−15V, 2A ... 200
+18V/−18V, 1A ... 196
+2..25V, 2A ... 199
+5V/100mA ... 198
μA723 ... 198
8V/1,5A ... 194
berekening trafo/elko ... 192
kontinu ... 202
dc-dc omzetting ... 201
montage ... 189
nauwkeurig geregeld ... 198
negatieve spanning ... 196
op de bus ... 31
standaard ... 194
op de kaarten ... 194
voorvoegsels ... 217
vormgeving ... 15
wacht ... 35
wachtcyclus-generator ... 68
XY-schakeling ... 183
Z80 ... 38
Zilog Z80 ... 38
ZN426 ... 130
ZN427 ... 119

Henk Scholten

Mikrosysteem

Universeel in- en uitvoersysteem

deel 1

Elke computer heeft naast de standaard printeraansluiting, meestal beperkte in- en uitvoermogelijkheden. Soms is er als extra nog een seriële poort aanwezig. Veel meer dan het aansturen van een printer is dus niet mogelijk.
Dit boek beschrijft een universeel in- en uitvoersysteem, dat véél meer mogelijkheden biedt. Universeel duidt hier in twee richtingen. Het systeem kan met verschillende computers werken, zowel met de PC-klonen als met de C64, Atari-ST, BBC, MSX en andere populaire computers. De in- en uitgangen van het systeem kunnen, door het gebruik van gestandaardiseerde signaalniveaus, kommuniceren met een grote variëteit aan signaalgevers en -verwerkers.
In dit eerste deel wordt de computer geschikt gemaakt voor het ontvangen (de invoer) en het uitzenden (de uitvoer) van zowel digitale als analoge signalen. Deze signalen kunnen o.a. worden verwerkt door de in deel 2 beschreven schakelingen. Dit eerste deel vormt echter wel een zelfstandig te gebruiken boek.

Uitgeversmaatschappij Elektuur BV
Postbus 75 6190 AB Beek L

NUGI 434/853
ISBN 90-70160-72-2